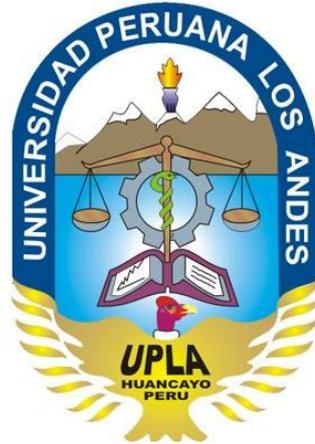


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DE CALIDAD DEL CONCRETO, ACERO Y  
COMPACTACIÓN EN CONSTRUCCIÓN DE CIMIENTOS EN TORRES  
DE ALTA TENSIÓN**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD:**

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS

**LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL:**

GESTIÓN DE TECNOLOGÍA EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS

**PRESENTADO POR:**

COCA ERQUINIO JOSÉ ALEJANDRO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO CIVIL

**HUANCAYO-PERÚ**

**2018**

**HOJA DE COFORMIDAD DE JURADOS:**

---

**Dr. Casio Aurelio Torres López**

**PRESIDENTE**

---

**Mg. Carlos Alberto Jesús Sedano**

**JURADO**

---

**Ing. Rando Porras Olarte**

**JURADO**

---

**Ing. Nataly Lucía Córdova Zorrilla**

**JURADO**

---

**Mg. Miguel Angel Carlos Canales**

**SECRETARIO DOCENTE**

**ASESORES:**

**ASESOR METODOLÓGICO:**

---

**Mg. Santos Julca, Jaqueline.**

**ASESOR TEMÁTICO:**

---

**Ing. Ordóñez Camposano, Vladimir**

## **DEDICATORIA**

A mis padres José y Carmen por ser  
fuente de inspiración y esfuerzo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Mater: Universidad Peruana los Andes por brindarme los conocimientos y fortalezas para mi formación profesional.

A mis mentores en las diferentes cátedras, que con sus sabias enseñanzas fortalecieron de conocimiento mi carrera universitaria.

Con especial consideración a los Asesores Mg. Jacqueline Santos e Ing. Vladimir Ordoñez por el apoyo para la elaboración y culminación de la tesis presente.

A la empresa G.C.Z. Ingenieros S.A.C. por brindar las facilidades y el ingreso a sus instalaciones, para el desarrollo de las actividades en la tesis presente.

## INDICE

CONFORMIDAD DE JURADOS.....	ii
ASESORES.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCION.....	xv
CAPÍTULO I.....	20
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.1 Planteamiento del problema.....	20
1.2 Formulación del problema.....	23
1.2.1 Problema general.....	23
1.2.2 Problemas específicos.....	23
1.3 Justificación.....	23
1.3.1 Práctica o social.....	23
1.3.2 Justificación metodológica.....	24
1.4 Delimitaciones.....	24
1.4.1 Espacial.....	24
1.4.2 Temporal.....	24
1.4.3 Económica.....	24
1.5 Limitaciones.....	25
1.6 Objetivos.....	25
1.6.1 Objetivo general.....	25
1.6.2 Objetivos específicos.....	25

CAPÍTULO II.....	26
MARCO TEORICO. ....	26
2.1 Antecedentes del Estudio.....	26
2.1.1 Antecedentes Nacionales.....	26
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	33
2.2 Marco Conceptual.....	39
2.2.1 Estructuras para la Transmisión de Energía.....	39
2.2.2 Tipología de torres de Alta tensión.....	41
2.2.3 Componentes de una torre de alta tensión.....	45
2.2.4 Criterios para el diseño de torres.....	46
2.2.5 Cargas para el diseño de torres.....	48
2.2.6 Factores de seguridad.....	50
2.2.7 Cimientos en torres de alta tensión.....	52
2.2.8 Norma técnica para el diseño de cimientos.....	53
2.2.9 Estudios geológicos para ubicación de torres de alta tensión.....	56
2.2.10 Fuerzas actuantes en los cimientos de torres de alta tensión.....	58
2.2.11 Diseño de cimientos para Torres de alta tensión.....	61
2.2.12 Comprobación del cimiento por arranque.....	64
2.2.13 Comprobación a compresión.....	67
2.2.14 Fuerza cortante para tornillos.....	68
2.2.15 Diseño estructural de torres de alta tensión.....	68
2.2.16 El concreto en torres de Alta tensión.....	70
2.2.17 Cuantía del acero en los cimientos.....	71
2.3 Definición de términos .....	71
2.4 Hipótesis. ....	72
2.4.1 Hipótesis general.....	72
2.4.2 Hipótesis específica.....	72
2.5 Variables.....	73
2.5.1 Definición conceptual de la variable.....	73

2.5.2	Definición operacional de la variable.....	73
2.5.3	Operacionalización de Variables.....	74
CAPÍTULO III.....		75
MARCO METODOLOGICO.....		75
3.1	Método de investigación.....	75
3.2	Tipo de investigación.....	75
3.3	Nivel de la investigación.....	76
3.4	Diseño de la investigación.....	76
3.5	Población y muestra.....	77
3.5.1	Población.....	77
3.5.2	Muestra.....	78
3.6	Técnicas e instrumentos de recopilación de datos y medición.....	79
3.6.1	Trabajo de campo.....	79
3.6.2	Análisis documentario.....	79
3.6.3	Modelamiento y resultados.....	79
3.7	Modelamiento convencional para diseño.....	80
a.	Alcances para el diseño.....	80
b.	Ubicación geográfica.....	81
c.	Características eléctricas.....	82
d.	Geología y sismicidad.....	82
e.	Geomorfología.....	82
f.	Sismicidad.....	83
3.7.1	Estudio de suelos.....	87
a.	Perfil stratigráfico.....	91
b.	Análisis de la resistencia de suelo de cimentación.....	92
3.7.2	Análisis estructural.....	93
a.	Análisis del viento.....	93
b.	Determinación de cargas en la torre. ....	95
c.	Simulación de torre de transmisión eléctrica.....	100

3.7.3	Diseño de la cimentación con característica ideal.....	110
	a. Compresión.....	116
	b. Cortante en tornillos.....	122
	c. Punzonamiento.....	122
	d. Cortante.....	123
	f. Flexión.....	124
3.7.4	Modelamiento con calidad ideal.....	125
	a. Respecto al concreto.....	125
	b. Respecto al acero.....	126
	c. Respecto a la compactación.....	127
3.7.5	Modelamiento con calidad no adecuada.....	130
	a. Respecto al concreto.....	130
	b. Respecto al acero.....	131
	c. Respecto a la compactación.....	132
CAPÍTULO IV.....		136
RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.....		136
4.1	Resultados analizando el concreto de 175 Kg/cm <sup>2</sup> .....	136
4.2	Resultados analizando el acero .....	138
4.3	Resultados analizando el grado de compactación.....	140
CAPITULO V.....		141
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		141
5.1	Calidad del concreto con $f_c'$ de 175 Kg/cm <sup>2</sup> .....	141
5.2	Calidad del acero con Cuantía de acero ½”.....	143
5.3	Calidad de la compactación con un grado de 43%.....	144
5.4	Discusión general.....	145
CONCLUSIONES.....		146
RECOMENDACIONES.....		147
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		149
ANEXOS.....		153

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Centrales que entraron en operación en el 2018.....	20
Tabla 2: Tensiones normalizadas para el diseño de torres.....	41
Tabla 3: Componentes de una torre de alta tensión (138 Kv).....	46
Tabla 4: Factores de sobrecarga en transmisión eléctrica.....	51
Tabla 5: Factores de sobrecarga de concreto en transmisión eléctrica .....	51
Tabla 6: Factores de resistencia en transmisión eléctrica .....	52
Tabla 7: Equivalencias en la escala de Beaufort.....	54
Tabla 8: Parámetros de Angulo de fricción y arranque.....	57
Tabla 9: Viento y temperatura en estructuras de transmisión eléctrica.....	94
Tabla 10: Viento, hielo y temperatura en estructuras de transmisión eléctrica.....	94
Tabla 11: Componentes geométricos de la torre de diseño.....	96
Tabla 12: Cargas puntuales por tensión de cables.....	98
Tabla 13: Cargas aplicadas por la presión del viento.....	104
Tabla 14: Reacciones aplicadas en la cimentación. ....	110
Tabla 15: Reacciones críticas para el diseño.....	110
Tabla 16: Comparación de la verificación por punzonamiento .....	136
Tabla 17: Comparación de la verificación por cortante.....	137
Tabla 18: Comparación de la verificación por punzonamiento .....	141
Tabla 19: Comparación de la verificación por cortante .....	142

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Torre de Alta tensión para la Transmisión Eléctrica.....	40
Figura 2: Clasificación de Torres de Alta tensión por el Voltaje.....	42
Figura 3: Torre de suspensión en el Sistema de Transmisión Eléctrica.....	43
Figura 4: Torre Tipo Angular.....	43
Figura 5: Torre Tipo Angular.....	44
Figura 6: Componentes de una Torre de Alta Tensión.....	45
Figura 7: Mapa de ubicación de Zonas de Cargas .....	47
Figura 8: Construcción de cimientos en torres de Alta tensión.....	52
Figura 9 : Mapa del Perú – Mapa de viento a 80 m: promedio anual. ....	55
Figura 10: Mapa de Rugosidad.....	56
Figura 11 : Geometría de una zapata aislada.....	58
Figura 12: Distancia dc, a la aplicación de la carga.....	59
Figura 13: Cargas horizontales sobre la torre. ....	60
Figura 14: Cargas Gravitacionales sobre la torre.. ....	61
Figura 15 : Cargas verticales y transversales sobre la torre. ....	62
Figura 16 : Cargas longitudinales sobre la torre. ....	63
Figura 17: Cargas Gravitacionales sobre la torre. ....	64
Figura 18: Peso de las tierras que gravitan (relleno) sobre la cimentación.....	65
Figura 19 Peso de las tierras arrancadas según el ángulo natural del terreno.....	65
Figura 20: Volumen de interferencia de tierra.....	66
Figura 21 : Ubicación del proyecto C.H La Virgen.....	77
Figura 22: Zonas de las Líneas de Transmisión.....	78
Figura 23 : Ubicación Geográfica.....	81
Figura 24: Escala de Intensidades de Mercall.....	85
Figura 25: Zonificación Sísmica.....	86
Figura 26: Contenido máximo de ion cloruro.....	90
Figura 27: Límites Permisibles de Agresividad del suelo al concreto.....	90

Figura 28: Perfil estratigráfico de campo.....	91
Figura 29. Características de la torre de diseño.....	95
Figura 30: Características del acero para el diseño.....	97
Figura 31: Definición de sección del elemento estructural con SAP 2000.....	98
Figura 32. Fuerzas Transversales y verticales.....	99
Figura 33. Fuerzas longitudinales.....	100
Figura 34: Características de la norma aplicada por el SAP 2000.....	101
Figura 35. Fuerzas Longitudinales.....	102
Figura 36. Fuerzas Transversales.....	103
Figura 37. Fuerzas Verticales.....	103
Figura 38. Carga aplicada por el viento.....	105
Figura 39. Aplicación del viento en la parte inferior.....	106
Figura 40. Aplicación de las fuerza del viento en la parte media.....	106
Figura 41. Aplicación de la fuerza del viento en la parte superior.....	107
Figura 42. Modelamiento de la estructura.....	108
Figura 43. Fuerzas resultantes.....	109
Figura 44. Base de torre de alta tensión.....	110
Figura 45. Dimensiones de la torre.....	112
Figura 46. Ángulo de Inclinación.....	118
Figura 47. Transmisión de presiones en el terreno.....	120
Figura 48. Valores obtenidos por punzonamiento.....	136
Figura 49. Valores obtenidos por cortante.....	137
Figura 50. Valores obtenidos por cuantía mínima en base.....	138
Figura 51. Valores obtenidos por cuantía mínima en pedestal.....	139
Figura 52. Valores obtenidos por grado de compactación.....	140

## RESUMEN

Esta investigación formuló como problema general: ¿Cómo es la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV?? así también planteó como objetivo General: Establecer cómo es la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV. y como hipótesis general, La calidad de la cimentación es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV.

El método de la investigación fue el método Científico, el tipo de investigación fue Aplicada, así mismo el nivel de investigación fue el descriptivo-explicativo y el diseño no experimental. Para la población se utilizó el proyecto de transmisión eléctrica La Virgen-Caripa, y la muestra una torre el cual se conocía las anomalías presentadas.

Se llegó a la conclusión de que Cuando la calidad del concreto disminuye, el esfuerzo resistente disminuye pero no determina la estabilidad del mismo, luego cuando la calidad del acero disminuye a uno de menor cuantía, este valor se reduce y comparado con el diseño, la resistencia a momentos flexionantes es menor, esto induce a transmitir los esfuerzos al concreto, así mismo, Cuando la calidad de la compactación disminuye, el peso estabilizante se reduce y verificándolo por el principio de arrancamiento incrementa el riesgo de volteo considerablemente.

*Palabras clave:* Cimientos en torres, resistencia, estabilidad.

## ABSTRACT

This research formulated as a general problem: How is the quality of the foundation in the construction of high voltage towers of the 138 kV transmission line ?? thus he also stated as a general objective: To establish what the quality of the foundation is in the construction of high voltage towers of the 138 kV transmission line. and as a general hypothesis, the quality of the foundation is adequate in the construction of high voltage towers of the 138 kV transmission line.

The research method was the Scientific method, the type of research was Applied, and the level of research was the descriptive-explanatory and the non-experimental design. For the population the electric transmission project La Virgen-Caripa was used, and it shows a tower which was known anomalies presented.

It was concluded that when the quality of the concrete decreases, the resistant stress decreases but does not determine the stability of the same, then when the quality of the steel decreases to one of smaller amount, this value is reduced and compared with the design, the resistance to bending moments is lower, this induces to transmit the stresses to the concrete, likewise, When the quality of the compaction decreases, the stabilizing weight is reduced and verifying it by the tearing principle increases the risk of turning considerably.

*Keywords:* Foundations in towers, resistance, stability.

## INTRODUCCION

En el proceso constructivo de las cimentaciones para las torres de Alta tensión, se presentan diversos inconvenientes por las características de la obra de ingeniería. Inconvenientes como el traslado de los materiales a cumbres empinadas, una inadecuada cubicación de la arena, el cemento y el agua provocan que la resistencia del concreto disminuya, igualmente las cuantías de acero menores a lo establecido alteran la estabilidad de la estructura, y aún más si el grado de compactación del material de relleno es inferior a lo determinado en las especificaciones técnicas. En este aspecto no se tiene establecido como estas deficiencias en la resistencia de concreto, la cuantía del acero y el grado de compactación influyen en la construcción de los cimientos de torres de alta tensión.

Para el estudio se consideró en el análisis de la resistencia, las recomendaciones Terzagui y Vesic, que consideran en el diseño de un cimiento la capacidad última de carga, peso volumétrico, características geométricas, los factores de carga y factores de nivel freático, con el objetivo de obtener las fuerzas resultantes que actúan en la cimentación. Resumiendo, el proyecto se ha dividido en cinco capítulos

En el Capítulo I, se planteó el problema general y problemas específicos, a investigar que se desea lograr, justificando además la importancia de la investigación en los aspectos prácticos, sociales y metodológicos.

En el Capítulo II se verificó los antecedentes de la investigación, también se revisó la bibliografía sobre el diseño de cimientos en torres de alta tensión, determinando principalmente la comprobación del cimiento por compresión y verificando el diseño por punzonamiento, diseño por cortante y diseño por flexión.

En el Capítulo III, se determinó el método de investigación, tipo y nivel de investigación, para luego determinar la población y muestra del estudio. El tipo de muestreo seleccionado es el no probabilístico, de tipo intencionado; por tanto, se consideró los resultados obtenidos en las pruebas de control de calidad de una torre de Alta tensión en la Zona 2 del proyecto.

En el Capítulo IV, se realizó el diseño del cimiento de una Torre de Alta tensión, primero considerando una calidad adecuada para el concreto, la cuantía de acero mínima para estas estructuras y el grado de compactación óptimo (100%), en segundo lugar, se realizó un segundo diseño con la información obtenida de los controles de calidad, donde se verifica que estos factores tienen una menor calidad en la resistencia del concreto, la cuantía del acero y el grado de compactación.

En el Capítulo V, con los datos obtenidos se procedió a realizar un análisis y discusión de resultados, con el que se logró verificar que una calidad adecuada en el concreto, el acero y el grado de compactación influyen positivamente en la construcción de cimientos en torres de alta tensión, al presentar parámetros óptimos en el cimiento como: una fuerza resistente  $V_c$  mayor, cuantía resistente a los momentos flexionantes, peso del relleno adecuado que disminuye el esfuerzo de arrancamiento y no presenta efectos de volteo.

Una vez obtenido los resultados fue posible sacar conclusiones a partir de la comparación de ambos diseños tanto como el ideal y el modelamiento trabajados en la presente investigación relacionados a la calidad del concreto, acero y compactación en cimientos de torres de alta tensión.

Para efectos de estos cálculos se utilizaron normas vigentes en el Perú como es la el *Código Nacional de Electricidad - CNE* y el *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE* y para los diseños requeridos se consultaron bibliografías entre los más destacados Quezada, J. (2005). *Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica* y Ruíz de Abarca, M. (2018). *Soluciones para el diseño y construcción de cimentaciones de torres de Transmisión eléctrica de alta tensión*.

En el presente trabajo de investigación se alcanza los anexos que constan de los protocolos de calidad que fueron evidencias de la calidad del concreto acero y compactación en la etapa de construcción de los cimientos de la torre de alta tensión, evidencia con el cual se procede a realizar los cálculos y las incidencias que tiene sobre la estabilidad de la torre materia de estudio de la presente tesis.

Bachiller Jose Coca Erquinio

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

El desarrollo económico de los últimos años en el país, vino acompañado de la necesidad de generar y transportar la electricidad desde las centrales hidroeléctricas hasta las subestaciones, con el objetivo de cubrir la demanda permanente de energía en las ciudades y poblados dentro del ámbito de los nuevos proyectos de electrificación. Con este precedente, a nivel nacional en los últimos años se han realizado concesiones para la construcción, mejoramiento y ampliación de proyectos de electrificación en todo el territorio nacional, con diferentes fuentes como hidroeléctricas, termoeléctricas, centrales solares y centrales eólicas con inversiones de cientos de millones de dólares para el año 2017 y presente 2018 según OSINERMIN.

Tabla 1:  
*Centrales que entraron en operación en el 2018*

Centrales	Potencia Instalada (MW)	Inversión (MM US\$)	Participación (%)
Termoeléctrica	99.96	176	22.89
Hidroeléctrica	20	71.6	4.58
Eólica	132.3	165.8	30.29
Solar	184.48	217.4	42.24
Total	436.74	630.8	100

Fuente: OSINERMIN (2018)

Uno de estos proyectos dentro de la cartera de inversiones, fue la construcción de la Línea de Transmisión de 138 Kv de la Central Hidroeléctrica la Virgen, concesionada a la empresa con la misma denominación dentro del

departamento de Junín, proyecto que cuenta con dos subestaciones: Sub Estación La Virgen y Sub Estación Caripa, y que abarca una longitud de transmisión de 63 Km, como se puede verificar en la ficha de contrato de concesión del proyecto otorgada por la entidad correspondiente.

Los cimientos de las torres de alta tensión son estructuras de gran importancia para la transmisión de energía eléctrica, en su diseño y construcción intervienen factores como la capacidad portante del suelo, las cargas de diseño, la tensión de los cables, estabilidad estructural y la calidad de los materiales con las cuales son construidas estas estructuras. En el proyecto de diseño e ingeniería se debe tener en cuenta que dichos estudios de ingeniería y sus expedientes correspondientes, están conformados por diversas especialidades Eléctricas, Mecánicas y Civiles dentro de las cuales la proyección y diseño de los cimientos de concreto reforzado corresponden al Ingeniero Civil. Si bien es cierto que los diseños son confiables, en la fase constructiva por las condiciones geográficas, climáticas y topografía del terreno; las calidades de los materiales se ven alteradas y esta situación afecta al cimiento que puede disminuir su rendimiento y capacidad de estabilidad. En el proceso constructivo de las cimentaciones para las torres de Alta tensión, se presentan diversos inconvenientes como es el traslado de los materiales a cumbres empinadas, una inadecuada cubicación de la arena, el cemento y el agua provocan que la resistencia del concreto disminuya, igualmente las cuantías de acero menores a lo establecido debido a una mala logística y retrasos en la llegada de este suministro, y aún más si el grado de compactación del material de relleno es inferior a lo determinado en las especificaciones técnicas, puesto que en su mayoría en las líneas de transmisión se usa el material propio alterado de las excavaciones de las mismas. En este aspecto no se tiene establecido como estas deficiencias en la resistencia de concreto, la cuantía del acero y el grado de compactación influyen en la construcción de los cimientos de torres de alta tensión.

Algunos de los factores que se pueden mencionar, son las deficiencias por el traslado de los materiales y equipos de construcción a los puntos topográficos, la falta de supervisión, la mezcla de material inorgánico como

tierras, piedras y otros con el material especificado en el diseño del concreto, lluvias, humedad y cambios de temperatura, y otras deficientes técnicas que en algunos casos obligan a los contratistas encargados a solucionar el problema en in situ en el proceso constructivo.

Se ha visto conveniente, identificar cómo las variaciones en lo correspondiente a la calidad del concreto, la cuantía de acero y el grado de compactación del material de relleno se comportan en la construcción de las cimentaciones en las torres de transmisión de alta tensión, en vista que muchas veces no se ha cumplido el diseño y requerimiento establecido, pues existe juicio empírico por el personal obrero aduciendo que a las torres no les pasa nada cuando no se cumple lo requerido en el diseño de ingeniería, sin embargo no existe un juicio técnico e ingenieril donde se establezca lo que sucede y como es el comportamiento del concreto, acero y compactación, ni tampoco se ha determinado cuál de estos tres aspectos es el más importante para la estabilidad de la estructura en el proceso constructivo de la torre, en este estudio se evaluó a través del análisis estructural y control de calidad para dar respuesta a estas interrogantes, estudio que servirá como el preámbulo para la búsqueda de soluciones ingenieriles tanto para el concreto, la cuantía de acero y la compactación en el proceso constructivo de los cimientos para las torres de transmisión eléctrica y con esto establecer nuevos parámetros en la normativa que rige en la construcción de torres de alta tensión, pues en el país no existe normatividad específica en lo referente a la disciplina de obras civiles que detallen y establezcan controles de calidad y parámetros de aceptación en el rubro de las líneas de transmisión y obras civiles pues solamente se usa el Código Nacional de Electricidad.

Considerando esta realidad, se consideró tres factores principales que se ven afectadas en el proceso constructivo: la resistencia del concreto, la cuantía del acero y el grado de compactación del material de relleno, tomando como muestra una torre de Alta Tensión que fue propuesta para demolición por la supervisión de Obra en vista que estos tres factores no cumplieron el estándar establecido en el diseño de construcción, La torre está ubicada en la *Zona 2 de la Línea de transmisión 138 kV S.E. La Virgen - S.E. Caripa*, en la región Junín.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo es la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?

### **1.2.2 Problemas específicos**

a) ¿Cómo es la resistencia del concreto en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?

b.) ¿Cómo es la cuantía del acero en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?

c.) ¿Cómo es el grado de compactación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?

## **1.3 Justificación**

### **1.3.1 Práctica o social**

La justificación práctica es desarrollar proyectos de ingeniería de una alta calidad es una obligación que exige al profesional responsable entregar proyectos perdurables, considerando que la falla de uno de sus elementos puede provocar pérdidas económicas muy superiores al costo constructivo, en vista que cada elemento es parte imprescindible de una red mucho mayor. Gran parte de la seguridad de estos elementos dependen principalmente del cimiento, que es diseñado considerando el tipo de torre (depende del voltaje), las presiones de

viento, las condiciones del suelo y sitio, las cargas que recibirá de la estructura metálica, de los cables tensados y posibles movimientos sísmicos.

### **1.3.2 Justificación metodológica**

La elaboración y aplicación de los instrumentos de recolección de datos para analizar la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión serán útiles para cualquier otro investigador que indague mediante métodos científicos, situaciones que pueden ser investigadas por la ciencia, una vez que sean demostrados su validez y confiabilidad podrán ser utilizados en otros trabajos de investigación y en otras investigaciones.

## **1.4 Delimitaciones**

### **1.4.1 Espacial**

El estudio se ha delimitado al análisis de los cimientos en las torres de transmisión ubicada en el tramo de Sierra de la Provincia de Tarma, dentro de los 61.79 Km que corresponden al proyecto ejecutado. El proyecto comprende tramos de Selva Central que por sus propias características geotécnicas, climáticas y ambientales consideran otros diseños de cimentación, tanto en concreto, reforzamiento y densidad del material de relleno.

### **1.4.2 Temporal**

Se ha considerado como una delimitación temporal para la ejecución del presente proyecto: la toma y recolección de información en periodos de estiaje, fundamentalmente para determinar el grado de compactación in situ de las cimentaciones construidas el 2018 – 2019.

### **1.4.3 Económica**

El presente estudio será autofinanciado por el mismo investigador.

## **1.5 Limitaciones**

Se ha considerado como una limitación de tipo económica, la determinación de la resistencia del concreto de los cimientos mediante los estudios y ensayos normados en laboratorio, proporcionados en los controles de calidad por parte de la empresa. Sin embargo, se considera como ideal la determinación de esta información mediante estudios posteriores en los cimientos in situ, o directamente en la participación de un proyecto de ejecución de esta naturaleza. Otra limitación de importancia, es la escasa bibliografía e información respecto al tema

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Establecer cómo es la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- a) Explicar cómo es la resistencia del concreto en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.
- b) Mostrar cómo es la cuantía del acero en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.
- c) Determinar cómo es el grado de compactación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Antecedentes del Estudio**

##### **2.1.1 Antecedentes Nacionales**

Alvarez, (2017) en su tesis denominada: *Diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica aplicado en el proyecto de Condorcocha - Tarma - Junín*, en la Universidad Continental; Huancayo, Perú, llegó a las siguientes principales 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 con el 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.

Berrocal, (2013) en su tesis denominada: *Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo*, sustentada en la Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, Perú, llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. De los tópicos y conceptos desarrollados en la presente tesis se evidencia las limitaciones con que se cuenta para conocer la mecánica de interacción, esfuerzos de contacto y desplazamientos en la interfaz de dos componentes de propiedades diferentes requeridos para el diseño; siendo los procedimientos analíticos los menos difundidos y de poca o nula aplicación en nuestro medio cobran especial importancia, a cambio, las aplicaciones numéricas que requieren de herramientas adicionales de poca difusión y uso no masificado.
2. La mecánica de interacción solamente puede ser conocida para su representación y solución mediante modelos simplificados como ocurre en gran parte de los fenómenos que involucran esfuerzos y deformaciones.
3. Se ha observado correspondencia entre los resultados que proporcionan los métodos analíticos y numéricos de manera general pero su tratamiento, del primer caso, es más engorroso y laborioso.
4. Debido a la importancia que cobra la cimentación, la misma está asimilada a cumplir con ciertos parámetros geométricos, de presión, de conformación que responden a las características del suelo y de las cargas interpuestas los cuales se esbozaron a lo largo de este trabajo. Por lo tanto, el diseño de una cimentación no es algo que se realiza de manera intuitiva, sino que sigue una metodología de cálculo que evalúa desde su forma hasta la profundidad de desplante.
5. Los puntos de correlación, similitudes y diferencias entre los métodos desarrollados se refuerzan en base a los resultados de las aplicaciones prácticas incluidas en el presente trabajo.

Portalino, (2017) en su tesis denominada: *Alternativa de fundación con micropilotes helicoidales para torres de telecomunicaciones en suelos granulares* sustentada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. La metodología de diseño de los micropilotes helicoidales se realizó tomando como referencia experiencias y aplicaciones hechas en otros lugares enfocándolo principalmente como alternativa de fundación en torres de telecomunicación, ya que en nuestro país este sistema aún no ha sido empleado. Por otro lado, las fórmulas utilizadas para el diseño son conservadoras y requieren de la información estratigráfica del suelo, con esta información se pudo determinar la cantidad de micropilotes helicoidales a usar en el proyecto, el diámetro de las hélices, la cantidad de hélices y el eje a utilizar.
2. El diseño presentado tomo más consideraciones al requerir de una lechada de cemento y un encamisado de acero, ya que el objetivo era utilizar un micropilote por pata para no incrementar los costos y que este sea capaz de soportar por si solo las solicitaciones de carga y tener una mejor respuesta al corte, para poder determinar la profundidad del encamisado y la lechada de cemento se utilizó el software LLPILE. Finalmente, si se desea verificar la capacidad de carga del micropilote durante su proceso constructivo se programan las pruebas de carga.
3. Se pudo estimar el asentamiento total de los micropilotes helicoidales a través del software HELIXPILE VS.15, con el cual se pudo ingresar las solicitaciones de carga y la configuración de los elementos del micropilote obtenidos en el diseño realizado. Con esto se pudo verificar que los asentamientos totales por micropilote estaban dentro de los rangos permisibles indicados en la normativa empleada para torres de telecomunicación, en la sección de asentamientos tolerables, que permite un asentamiento total máximo de 5cm.
4. El proceso constructivo de los micropilotes helicoidales resulta ser más viable en cuanto al proceso y recursos necesarios respecto al de una losa de cimentación, con esto nos damos cuenta de que al tener un proceso constructivo más corto el ahorro de tiempo es notable y por ende resulta

siendo más conveniente su uso, sobre todo en lugares de difícil acceso, ya que no necesita que se realicen movimientos de tierra considerables, que se utilicen grandes cantidades de acero y concreto, se emplee maquinaria pesada y se requiera de muchas cuadrillas de personal para su construcción.

5. Del análisis económico realizado, se pudo determinar que el micropilote helicoidal resulto 18% más económico que utilizar la losa de cimentación ( la cual es la fundación original de la torre en análisis); Asimismo, nos damos cuenta que dadas las condiciones del terreno en análisis el construir una losa de cimentación en esas condiciones implica un mayor plazo de construcción, la napa freática tuvo que ser deprimida durante todo el proceso de construcción para trabajar en seco y el volumen de excavación fue inevitable por la cota de desplante en la que se ubica la losa de cimentación de la torre, todo lo mencionado anteriormente son variables que encarecen el proyecto de cimentación
6. Cabe resaltar que una correcta planificación para la importación de este producto sería beneficioso e innovador para la construcción de torres de telecomunicación de las diferentes empresas que se dediquen a este rubro nuestro país, ya que los beneficios técnicos y económicos de presentarlo como una nueva alternativa de fundación son notables.

Laura, (2016) en su tesis denominada: *Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno, para cimentaciones superficiales* sustentada en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. De la evaluación teórica de los métodos, del criterio de resistencia, se concluye que la capacidad de carga admisible tiene valores altos diferentes, influenciados por los factores de corrección de forma, profundidad e inclinación de cada método, para zapatas de pequeñas dimensiones ( $< 1.50\text{m}$ ) reduciéndose hasta aproximadamente dimensiones de 10 m, luego de esto aumentan con diferente intensidad. No debe olvidarse que esta reducción no debe ser considerada alarmante, debido a que en los cálculos se habla de esfuerzos que traducidos a Cargas (fuerza) aumentan con las dimensiones de la zapata.
2. El análisis de los resultados obtenidos teóricamente con los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos arcillosos, como los suelos lacustres de la bahía de Puno, y los obtenidos a raíz de pruebas de campo con zapatas reales, nos muestra que para suelos finos la capacidad portante admisible del suelo no puede estar sujeta al análisis por resistencia del suelo, sino que el criterio predominante para ese fin es el que considera la deformación máxima permitida para el suelo, para tal caso el método tradicional más confiable es el método edométrico (consolidación unidimensional).
3. Sin embargo, si sólo se realizan estimaciones de la capacidad portante del suelo por el criterio de resistencia, se puede considerar confiables los métodos de Terzaghi, para zapatas de dimensiones menores o iguales a 2.00 m, y el método de Meyerhof reduciendo, en ambos casos, las estimaciones hasta en un 30% del valor calculado. No debe olvidarse que para dimensiones mayores ( $B > 3.00\text{ m}$ ) todos los métodos parecen ser aplicables debido a que sus estimaciones parecen converger, a excepción del método de Terzaghi. De este modo podemos tener mayor confianza en calcular la capacidad portante por los métodos aquí indicados, bajo las condiciones indicadas.

4. Se determinaron las cargas permisibles y, por tanto, el número de pisos que puede tener una edificación a construirse en la zona: 1 piso para edificaciones soportadas por zapatas cuadradas de 1.00 m, y hasta 2 pisos para las soportadas por zapatas de 1.50 m. Aunque ésta es una aproximación, y los cálculos a realizarse dependen de diversos factores, particulares de cada proyecto, este análisis proporciona un mayor grado de confiabilidad si se aplican los métodos aquí consideramos como más confiables.
  
5. Debido al reducido número de datos conseguidos, no se propone un método de cálculo tanto de la capacidad portante como de los asentamientos para los suelos lacustres de la bahía de Puno, sin embargo, se propone considerar el conjunto de métodos conformados por:
  - ✓ Método de Terzaghi y Meyerhof, para zapatas hasta de 2.00 m, con una reducción del valor calculado hasta en 30%.
  - ✓ Métodos de Meyerhof, Hansen, y Vesic, para zapatas de dimensiones mayores a 3.00 m, considerando una reducción mayor.
  - ✓ Método edométrico, para cálculo de asentamientos del suelo y por tanto capacidad portante admisible en suelos de la bahía de Puno.
  
6. La determinación de la capacidad portante de los suelos debe realizarse teniendo información previa a cerca de la distribución de puntos de apoyo y cargas que la estructura necesita que el suelo soporte, y algunas posibles condiciones especiales. No debe aplicarse a ciegas una capacidad portante recomendada en un estudio de suelos, debiendo verificarse que ésta se haya determinado para las condiciones y dimensiones que serán utilizados para su ejecución.
  
7. Debido a que esta tesis en un primer intento por poner a prueba los métodos disponibles para cálculo de capacidad portante por resistencia y

deformabilidad, se concluye que tanto el estudio de la bibliografía disponible original y las pruebas de campo son muy recomendables para tener un mejor criterio para la hora de decidir cómo realizar un estudio geotécnico, qué métodos usar para los cálculos y cómo utilizar los resultados de esos cálculos.

### **2.1.2 Antecedentes Internacionales**

Ruíz de Abarca, (2018) en su tesis denominada: *Soluciones para el diseño y construcción de cimentaciones de torres de Transmisión eléctrica de alta tensión*, sustentada en la Universidad de El Salvador; El Salvador llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. Para el diseño de una cimentación de una torre de transmisión de alta tensión, es sustancial conocer todos los aspectos mecánicos; como son todos los tipos de vanos descritos, libramientos y las fuerzas que afectan directamente el cálculo de los árboles de carga de una línea de transmisión eléctrica de alta tensión para aplicar esta información en el diseño de las fundaciones, en conclusión estos aspectos mencionados están contemplados dentro de este trabajo de graduación, son una guía práctica y rápida para introducirse en el diseño de las líneas de alta tensión, de manera que el lector profesional en el área de ingeniería civil pueda entender como estos aspectos mecánicos afectarían el diseño de este tipo de obras.
2. Analizando la torre en el programa SAP2000 se identificó que la torre tiene un valor mayor en compresión igual a 12272.48 kg que en tensión con un valor de:-8756.40 kg de lo cual podemos concluir que la torre está sintiendo una fuerza que la quiere arrancar del suelo, pero para contrarrestar esta acción lo que se debe hacer es analizarla por el procedimiento de la norma TIA/EIA 222F, de no ser verdaderas las desigualdades que nos manda a revisar la norma antes mencionada debemos cambiar las dimensiones de nuestras cimentaciones o aumentar la profundidad de desplante.

3. De los tres tipos de fundaciones analizadas en este trabajo de graduación se concluye que las cimentaciones más económicas son las zapatas acampanadas lo cual se puede concluir a partir de sus volúmenes excavados y sus volúmenes de concreto necesarios para su construcción.
4. Todo lo antes mencionado acerca de las zapatas acampanadas nos da como principal motivación reconocerla como la fundación más práctica de las tres que se han estudiado.
5. La zapata aislada se seleccionaría a la zapata acampanada si no pudiéramos hacer la excavación para la zapata acampanada si el suelo no resiste y se nos está desmoronando constantemente, por lo que sería necesario hacer un buen entibado para la protección de los trabajadores y de esta manera construir mejor una zapata aislada.
6. El uso de la losa de cimentación es un caso particular y puede ser utilizado en construcciones donde tenemos fuerzas de arrancamiento muy grandes y necesitamos mantener la torre firme y el peso del concreto nos ayudaría en este caso, o también se puede utilizar en terrenos bastante malos que necesitamos excavaciones grandes para sostener el suelo con entibados por tal razón no podemos hacer excavaciones pequeñas
7. El trazo o trayectoria de una línea de transmisión es determinante en el diseño como en la construcción de las cimentaciones y su importancia aumenta en razón directamente proporcional al valor de la tensión de transmisión de una línea, por tal motivo se describen las etapas de construcción de las tres soluciones estipuladas en este trabajo de graduación concluyendo que este tipo de fundaciones son especiales ya que tenemos una fuerza de tensión. Los procesos constructivos de estas obras van ligados al uso constante de teodolito o estación total para controlar que las cimentaciones queden en su exacta posición según planos y especificaciones técnicas ya que un pequeño error en las bases acabaría siendo una pérdida porque podría no cerrar en la punta torre o podría cerrarse antes de que llegue a la punta.

8. Cumpliendo con las revisiones convencionales de zapatas aisladas y zapatas acampanadas para comprobar como por ejemplo su dimensionamiento y que el suelo sea capaz de resistir dichos cimientos es trascendental que las fundaciones de una torre sean examinadas por el método descrito en la TIA/EIA 222F para comprobar que una o varias torres en de una línea de transmisión eléctrica de alta tensión no se vayan a arrancar del suelo debido a la fuerza de tensión máxima que dé como resultado de las fuerzas que actúan afectando la estabilidad de la torre como son arboles de carga y viento en la torre.

Cruz y Sanchez, (2010) en su tesis denominada: Diseño geotécnico de la cimentación a base de zapatas aisladas ancladas en roca para el proyecto L.T. Quevedo - Menonita, sustentada en el Instituto Politécnico Nacional; México llegaron a las siguientes principales conclusiones:

1. De la revisión bibliográfica se observó que la especificación CFEJA100-64 no contempla el diseño por sismo de las cimentaciones.
2. Se propone que en la especificación CFEJA100-64, en lo que respecta a cimentaciones desplantadas en roca, se incluyan aspectos fundamentales de la calidad del macizo rocoso, principalmente la existencia de discontinuidades, mismas que se deben incluir en el diseño geotécnico.
3. En la especificación CFEJA100-64 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.

Quezada, (2005) en su tesis denominada: *Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*, sustentada en la Universidad Austral de Chile; Valdivia, Chile llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. Luego de haber revisado diferentes fuentes bibliográficas, complementado a esto la experiencia del Tesista en este tipo de construcciones, se logró procesar esta información, obteniendo como resultado un manual que servirá de apoyo a profesionales y Supervisores del área Civil, que trabajen en proyectos de esta naturaleza, entregando una visión general de los aspectos más relevantes en la construcción de líneas de transmisión de energía eléctrica. Cumpliéndose de esta manera con el objetivo planteado en esta Tesis.
2. En el desarrollo de un proyecto de ingeniería, el Constructor Civil debe demostrar que su trabajo no sólo se remonta a la construcción propia de las fundaciones, sino que también debe interiorizarse en el macro del proyecto, esto con el fin de poder ser un profesional crítico y capaz de detectar las posibles incongruencias que se generan en la emisión de información, de las distintas etapas, por parte de ingeniería.
3. La importancia del control de calidad en el desarrollo de cualquier proyecto radica en que toda construcción debe ejecutarse de acuerdo con las especificaciones técnicas, memorias de cálculo y normativa aplicable para la obra en particular. Además, dicho control de calidad debe hacerse de manera tal que asegure al mandante que cada etapa fue realizada cumpliendo los más altos estándares de calidad establecidos por la empresa.
4. La empresa debe mostrar al mercado que está realmente interesada en el cuidado de las personas y el medio donde se ejecutan sus procesos

productivos, implantando una política eficiente en lo que respecta a la Prevención de Riesgos y la Protección del Medio Ambiente.

5. Las compañías que logran mejores resultados y se mantienen vigentes en el tiempo, son aquellas que implantan dentro de su organización una política integral de Control de Calidad, Prevención de Riesgos y Control de Impacto Medio Ambiental, ya que estas disciplinas, aunque parezcan ser distintas apuntan en la misma dirección que no es otra que la *calidad*.
6. Los procedimientos de trabajo, son una herramienta fundamental en la ejecución de las diferentes tareas de un proyecto, puesto que por este medio se informa hasta el último elemento productivo, de una organización, de lo que se quiere lograr, cómo debe ser ejecutado y los riesgos presentes en cada actividad; por lo tanto, al elaborar un procedimiento éste debe hacerse con la máxima rigurosidad, ya que de esta forma evitamos pérdidas por trabajos mal ejecutados o accidentes indeseados.

Barragán, (2013) en su tesis denominada: *Análisis de una torre de transmisión eléctrica ante efectos de viento atmosférico y de tromba: relación del costo de la torre en función de la velocidad del viento*, sustentada en la Universidad Nacional Autónoma de México; México llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. Al analizar la torre de transmisión eléctrica ante los efectos de viento causados por dos fenómenos distintos (viento atmosférico y tromba), se logró obtener una relación entre el costo de una torre de transmisión y la velocidad del viento.
2. También se observó que los fenómenos de viento considerados son muy diferentes en su comportamiento, por lo que las relaciones entre costo y

velocidad del viento obtenidas son igualmente distintas. Un aspecto a resaltar es que estas relaciones no se ajustan con las propuestas por el Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Viento (MOCDV, 2008) de la CFE, para obtener el diseño óptimo por cargas de viento.

3. Un aspecto interesante que se observó fue que a pesar de que la torre presenta menores desplazamientos laterales bajo efectos del viento atmosférico, ésta tiene un costo mayor conforme aumenta la velocidad regional, en cambio, bajo los efectos del viento generado por el fenómeno de tromba, los desplazamientos laterales resultaron ser menores y con ello el costo de la torre, a pesar de que las velocidades máximas que se presentan en el viento generado por tromba son mayores que las que se presentan bajo viento atmosférico.
4. El que la torre analizada bajo el fenómeno de tromba halla resultado tener menores daños, a pesar de presentar velocidades de diseño más altas que la analizada bajo viento atmosférico, se debe principalmente a la distribución de velocidades del viento con la altura de la tromba, ya que éste aumenta de manera repentina hasta llegar a un máximo para después disminuir, contrario a lo que sucede con el perfil de velocidad del viento atmosférico, en donde la velocidad del viento aumenta conforme aumenta la altura.
5. Los elementos que fallaron con mayor frecuencia en la torre bajo el efecto de viento atmosférico fueron las diagonales y los elementos que conforman las crucetas. En el análisis del efecto de tromba, los elementos que fallaron fueron sólo las diagonales del cuerpo recto de la torre y los elementos de las crucetas.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Estructuras para la Transmisión de Energía**

Las estructuras para la transmisión de energía son torres metálicas de gran altura construidas con ángulos o celosías de acero, que además hacen uso de una red de cables de Alta Tensión sostenidas en las torres metálicas y conocidas como líneas de transmisión. (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – A.S.C.E./SEI 48, 2010).

La torre como elemento estructural, tiene como principal función: servir como soporte para los cables conductores que transmiten la electricidad.

El sistema estructural de la torre, además de soportar las cargas de la propia estructura y el peso de los cables conductores o Líneas de Transmisión, debe soportar cargas de empuje debido al viento y cargas de tracción por el tensado de los cables conductores y la temperatura que genera la transmisión de energía dependiendo de los voltajes.



*Figura 1:* Torre de Alta tensión para la Transmisión Eléctrica

Fuente: Archivo Fotográfico

También las torres de Alta tensión están sujetos a las condiciones espaciales, geográficas y topográficas, por ejemplo, el diseño de una Torre de amarre es más rígida cuando además de soportar las tracciones generadas por los elementos antes mencionados, tienen que evitar obstáculos o cruzar carreteras. Otro aspecto que afecta a las torres de Alta tensión es la capacidad de la línea de transmisión, la estructura de la torre varía de acuerdo al voltaje requerido y capacidad de la línea. En el sistema eléctrico nacional se considera los siguientes niveles de tensión: 500 kV, 220 kV, 138 kV, 60 kV, 33 kV, 22.9 kV, 20 kV y 10 kV, en el caso particular de presente estudio el nivel de tensión que es de 138 Kv. (Código Nacional de electricidad, 2011)

## 2.2.2 Tipología de torres de Alta tensión

Estas estructuras se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios: por el nivel de tensión (Kv), por la función que desempeñan y por la geometría que se utilizó en su diseño. (Código Nacional de Electricidad, Apartado 017.A, 2011)

**Por los niveles de Tensión:** se clasifican en cuatro tipologías, que se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2:  
*Tensiones normalizadas para el diseño de torres*  
**Tipo Limite Superior (U=Tensión Nominal)**

Baja Tensión $U \leq 1$ kV	
380/220V	
440/220V	
Media Tensión $1 \text{ kV} < U \leq 35$ kV	
20,0 kV	
22,9 kV	
33 kV	
22,9 kV / 13,2 kV	
33 kV / 19 kV	
Alta Tensión $35 \text{ kV} < U \leq 230$ kV	
60 kV	
138 kV	
220 kV	
Alta Tensión $\geq 230$ kV	
500 kV	

*Fuente: Código Nacional de Electricidad*

Esta clasificación por la tensión que tiene la torre de transmisión define además su altura. En la *Figura 2* se puede apreciar las diversas alturas (m) para estas estructuras y su correspondiente voltaje. Esta imagen proporciona una idea de las alturas que corresponden a la torre correspondiente a proyecto estudiado (138 kV) definida como Torre de Alta tensión.

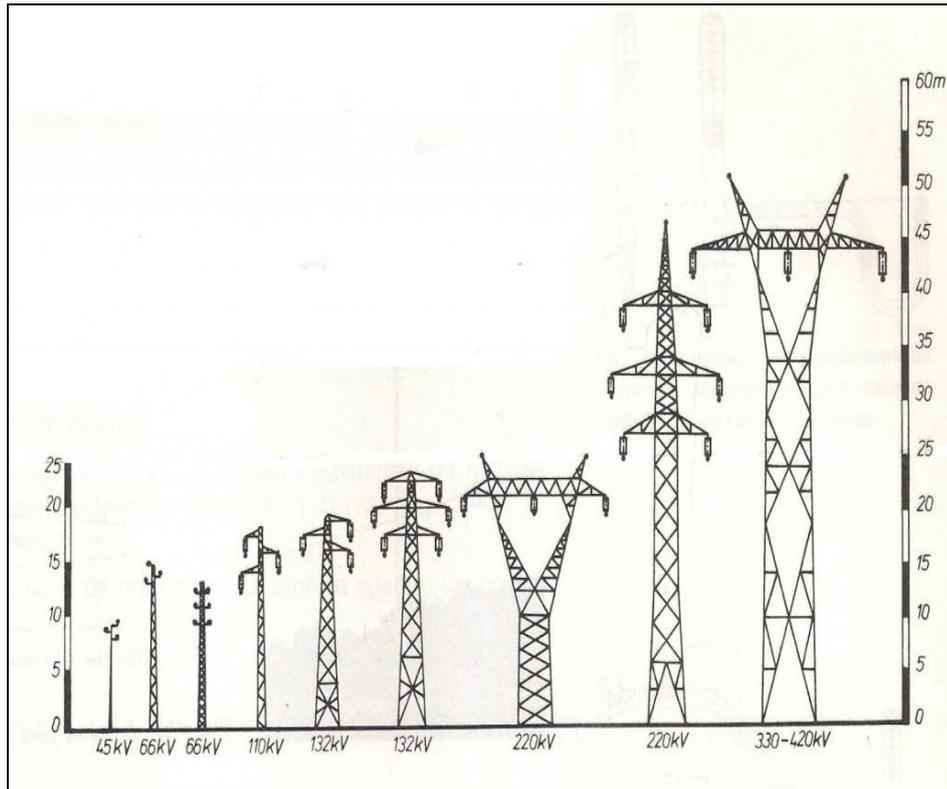


Figura 2: Clasificación de Torres de Alta tensión por el Voltaje

Fuente: [www.sectorelectricidad.com](http://www.sectorelectricidad.com)

**Por la función que cumplen:** Se clasifican en tres tipos que pueden ser utilizados de acuerdo a su función en el sistema de transmisión eléctrico:

- a) **Torres de suspensión:** Soportan el peso de los cables, cadenas de aisladores y herrajes. Su usabilidad se demuestra en los tramos rectos de la línea de transmisión, donde no se tienen cargas horizontales por ángulos o giros de los cables en las líneas de transmisión, se caracteriza por ser estructuras livianas.



*Figura 3: Torre de suspensión en el Sistema de Transmisión Eléctrica*

Fuente: Archivo Fotográfico

- b) Torre angular:** Tiene cargas transversales producidas por el ángulo entre los cables de llegada y los de salida, como se aprecia en la siguiente figura.



*Figura 4: Torre Tipo Angular*

Fuente: Archivo Fotográfico

Su uso es frecuente cuando se requiere cambios de dirección en las líneas de transmisión, con el objetivo fundamental de sortear accidentes geográficos, obstáculos viales, centros poblados y otros. Una de sus características es su mayor abertura entre las Stub (ángulos de anclajes en la cimentación) para poder soportar los mayores momentos de volteo.

- c) Torres 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 5: Torre Tipo Angular*

Fuente: Archivo Fotográfico

**Tipología por su geometría:** Estructuralmente las torres se pueden clasificar en dos tipos:

- a) **Torres arriostrada:** Son estructuras que utilizan arriostres o tensores que sujetan la estructura para darle estabilidad, se caracterizan por ser de sección triangular en planta y esbeltas, son ligeras en peso por lo que no tienen capacidad de soportar los esfuerzos horizontales.
- b) **Torre auto soportada:** Son las torres de Alta tensión comunes o típicas de celosía, estructuralmente se comportan como vigas incrustadas en el suelo. Su característica principal es la rigidez que presentan para soportar las cargas propias, cargas de las líneas de transmisión, y cargas adicionales como viento y temperatura.

### 2.2.3 Componentes de una torre de alta tensión

Una Torre de Alta Tensión de forma genérica presenta los siguientes componentes:

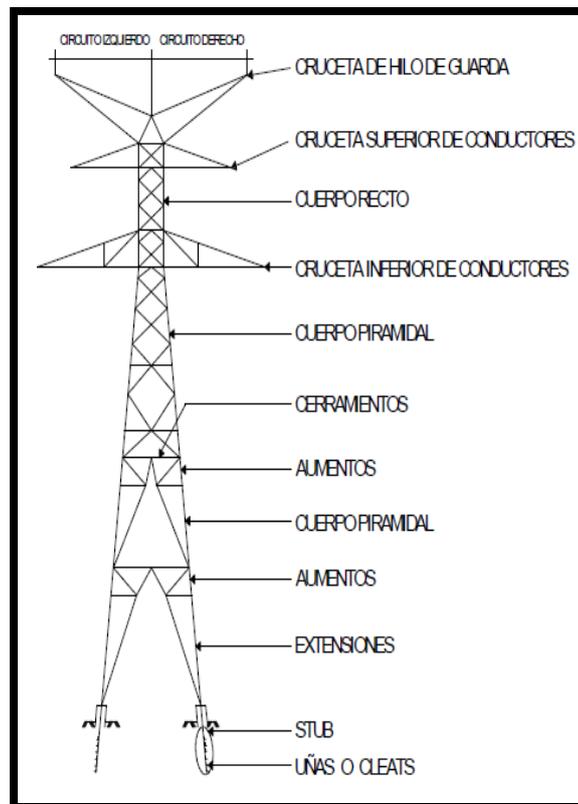


Figura 6: Componentes de una Torre de Alta Tensión

Fuente: [transporteenergia2014.blogspot.com](http://transporteenergia2014.blogspot.com)

Dentro de los componentes más reconocidos, se puede apreciar en la figura 05, en las cimentaciones el *Stub*, en el intermedio de la estructura el cuerpo piramidal, y las crucetas para los cables de Alta tensión.

Tabla 3:

Componentes de una Torre de Alta Tensión (138 kV)

<b>COMPONENTES</b>
Ángulos de anclaje en cimentación ( <i>stub</i> )
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).

Fuente: Código nacional de electricidad

De estos elementos que componen una Torre, el *stub* (el ángulo de anclaje en cimentación) es uno de los elementos de mayor importancia en las cimentaciones, debiendo ser diseñadas de acuerdo con las especificaciones del ASCE. El *stub* permite sujetar y fijar la Torre para evitar el colapso, siendo esta su mayor importancia dentro de la cimentación, además que el ángulo de abertura o inclinación determina la mayor resistencia a los esfuerzos provocados por una línea de transmisión eléctrica.

#### **2.2.4 Criterios para el diseño de torres**

Para el diseño de Torres de Alta tensión (138 kV en el proyecto), se debe considerar la tipología de la estructura a diseñar, en vista que esto determinará la magnitud de la Torre. Los cálculos de las estructuras metálicas de las torres de alta Tensión se efectúan de acuerdo con el siguiente procedimiento: primero se debe determinar previamente el tipo de conductor a utilizar, de acuerdo con el nivel de tensión de la línea de transmisión eléctrica; También

definir el material de la estructura, el número de ángulos que tiene el trazo de la línea, las características del suelo como capacidad portante, el número de circuitos o ternas, longitud de la línea de transmisión. Para considerar las cargas, se debe considerar las zonas de carga. (Código Nacional de electricidad, 2011)

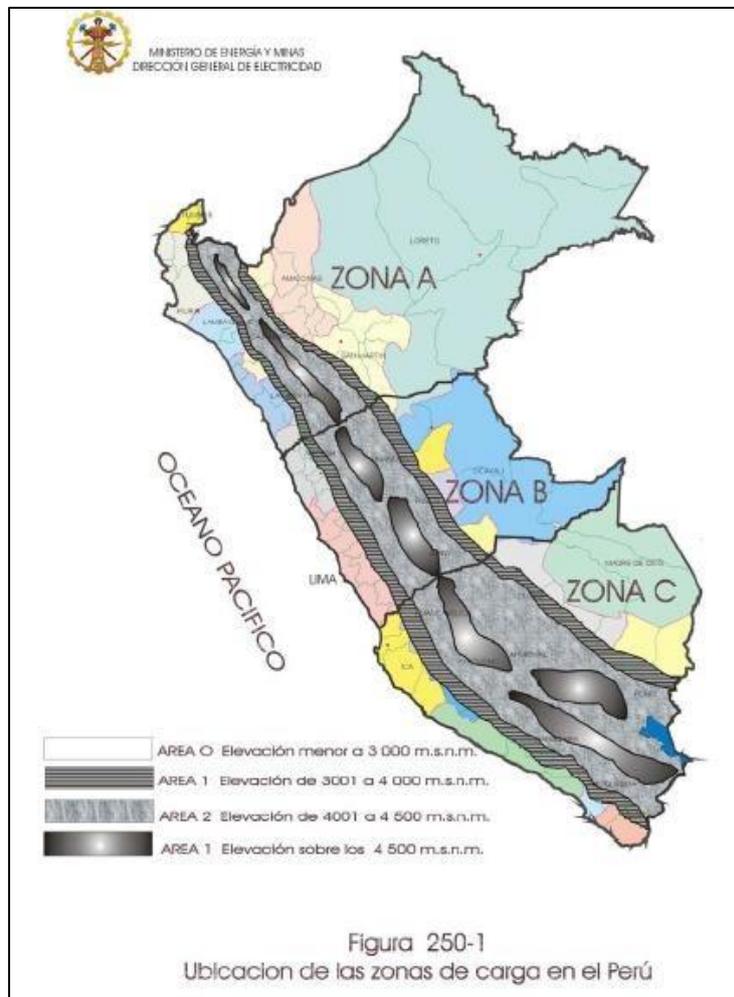


Figura 7: Mapa de ubicación de Zonas de Cargas

Fuente: Código nacional de electricidad

Se debe considerar el cable conductor de acuerdo a las condiciones adoptadas según zona de carga (costa, sierra, selva) previsto en el Código Nacional de Electricidad. También es necesario considerar el tensado EDS en condición final para el cable conductor seleccionado. (Código Nacional de Electricidad, 2011)

## **2.2.5 Cargas para el diseño de torres**

Estas varían de acuerdo con el tipo de torre a diseñar, considerando además que su tipología determina el uso de una torre de alta tensión.

### **A. Para tipo suspensión**

En este tipo de torres se considera la Presión del viento transversal máximo sobre la estructura, el cable conductor y los aisladores. Se tomará según la zona de carga de solo viento. La Presión de viento máximo en 45° con respecto al eje de la línea. (Código Nacional de electricidad, 2011)

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.

- 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.

- Carga con hielo máximo (donde exista) y máxima presión promedio de viento transversal a la estructura.

- Condición de tendido (para la verificación del peso sobre las crucetas) al EDS.

- Caso correspondiente a la zona de carga sólo hielo según el CNE.

### **B. Para tipo anclaje**

- Serán las mismas que para la de tipo suspensión salvo que se debe considerar el 100% del tiro remanente longitud de la rotura de toda la fase. (Código Nacional de electricidad, 2011)

### **C. Para tipo retención**

Las cargas, según la tabla 250-1-B son: (Código Nacional de electricidad, 2011)

- 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.

- Presión de viento máximo en 45° con respecto al sentido longitudinal de la línea.

- 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.

- Cargas con hielo máximo (donde exista) y máxima presión promedio de viento transversal a la estructura.

- Condición de tendido (para la verificación del peso sobre las crucetas) al EDS.

- Caso correspondiente a la zona de carga sólo hielo según el CNE.

#### **D. Para tipo terminales**

- Las hipótesis de cargas, según la tabla 250-1-B del CNE, son:

- 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.

- 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.

- Caso de solo hielo según el CNE.

- Caso combinado de hielo y viento según el CNE.

## 2.2.6 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.

- 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 anti vibratoria.

- 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 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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 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 4

*Factores de sobrecarga para estructuras de transmisión eléctrica*

	Factores de sobrecarga			
	Grado B		Grado C	
Cargas de la Regla 250.B cargas verticales	1.50		1.90 <sup>6</sup>	
Cargas Transversales viento Tensión de alambre	2.5	1.65 <sup>2</sup>	2.2 <sup>4</sup>	1.30 <sup>5</sup>
Cargas longitudinales En los cruces En general En los amarres (anclajes)	1.10	1.65 <sup>2</sup>	Ningún requerimiento	1.30 <sup>5</sup>
En cualquier lugar En general En los amarres	1.10	1.65 <sup>2</sup>	Ningún requerimiento	1.30 <sup>5</sup>
Cargas, Regla 250.C	1		1	

Fuente: Código nacional de Electricidad - CNE Pág. 220

Tabla 5

*Factores de sobrecarga alternativa para estructuras de concreto armado en estructuras de transmisión eléctrica*

	Factores de sobrecarga			
	Grado B		Grado C	
	Cuando esté instalado	En reemplazo	Cuando esté instalado	En reemplazo
Cargas de la Regla 250.B cargas verticales	2.2	1.5	2.2	1.5
Cargas Transversales Viento (en los cruces)	4	2.67	2.67	1.33
Viento (en cualquier lugar)	4	2.67	2	1.33
Tensión de alambre	2	1.33	1.33	1
Cargas longitudinales En general En los amarres	1.33	1	Ningún requerimiento	Ningún requerimiento
	2 <sup>6</sup>	1.33 <sup>7</sup>	1.33	1
Cargas, Regla 250.C	1.33	1	1.33	1

Fuente: Código nacional de Electricidad - CNE Pág. 221

Tabla 6

*Factores de resistencia para estructuras de transmisión eléctrica*

	Grado B	Grado C
<b>Factores de resistencia para ser utilizados con cargas de la regla</b>		
<b>250.B</b>		
Estructuras de metal y concreto pretensado	1	1
Estructuras de madera y concreto armado	0.65	
Alambre de retenida	0.9	
Anclaje y cimentaciones de retenida	1	
<b>Factores de resistencia para ser utilizados con cargas de la regla</b>		
<b>250.C</b>		
Estructuras de madera y concreto armado	0.75	0.75
Alambre de retenida	0.9	0.9
Anclaje y cimentaciones de retenida	1	1

Fuente: Código nacional de Electricidad - CNE Pág. 233

### 2.2.7 Cimientos en torres de alta tensión

En las torres de Alta tensión se utilizan cimentaciones de tipo superficiales, con una profundidad menor a cinco metros, 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 (Reglamento nacional de edificaciones E.050).



Figura 8: Construcción de cimientos en torres de Alta tensión

Fuente: Archivo Fotográfico

Para el diseño de las cimentaciones se considera como esencial la información geotécnica y de las cargas últimas que se extraerán del árbol de cargas de la torre de transmisión eléctrica, determinado en el estudio electromecánico.

### **2.2.8 Norma técnica para el diseño de cimientos**

En la actualidad no existe un código de diseño para los cimientos de torres de transmisión eléctrica, en la normativa peruana. Por lo que en la presente investigación 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 cimientos de torres de transmisión eléctrica, la cual se adapta a nuestros fenómenos naturales a las cuales están sometidas.

De acuerdo con el 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. En esta bibliografía se considera que una cimentación de torres de Alta tensión, deben ser comprobados por: Arranque, compresión y 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.** La unidad que mide la velocidad del viento en el sistema internacional son el metro/segundo (m/s), por familiaridad, también se emplean el kilómetro y la hora (km/h) (Atlas Eólico del Perú, 2008).

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 7

### *Equivalencia en 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)

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 Flojito (brisa muy débil) y Flojo (brisa débil), según la escala de Beaufort.

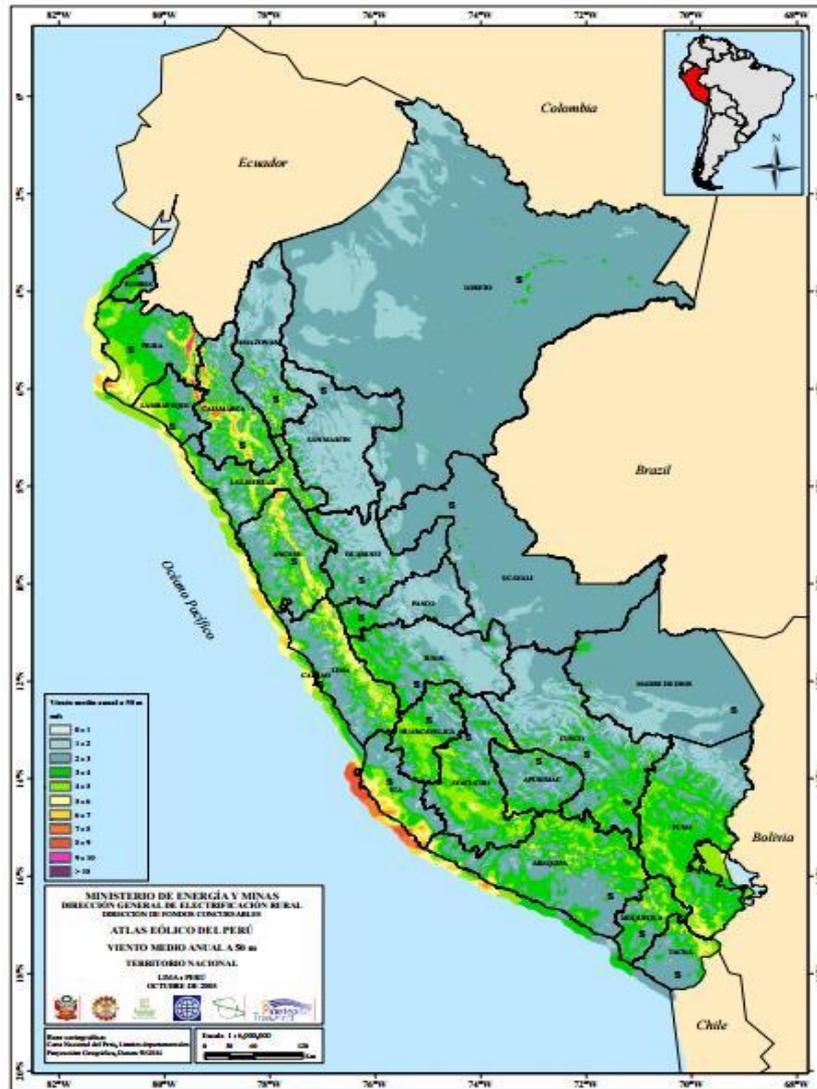


Figura 9 : Mapa del Perú – Mapa de viento a 80 m: promedio anual.  
 Fuente: Atlas Eólico del Perú, Lima – Perú

## 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. Los valores típicos de rugosidad van de 0.001 m en campo abierto sin árboles o arbustos significativos, a 0.1m en terrenos mayoritariamente arbustivos, y a 1m o más en zonas con muchos árboles (Atlas Eólico del Perú, 2008).

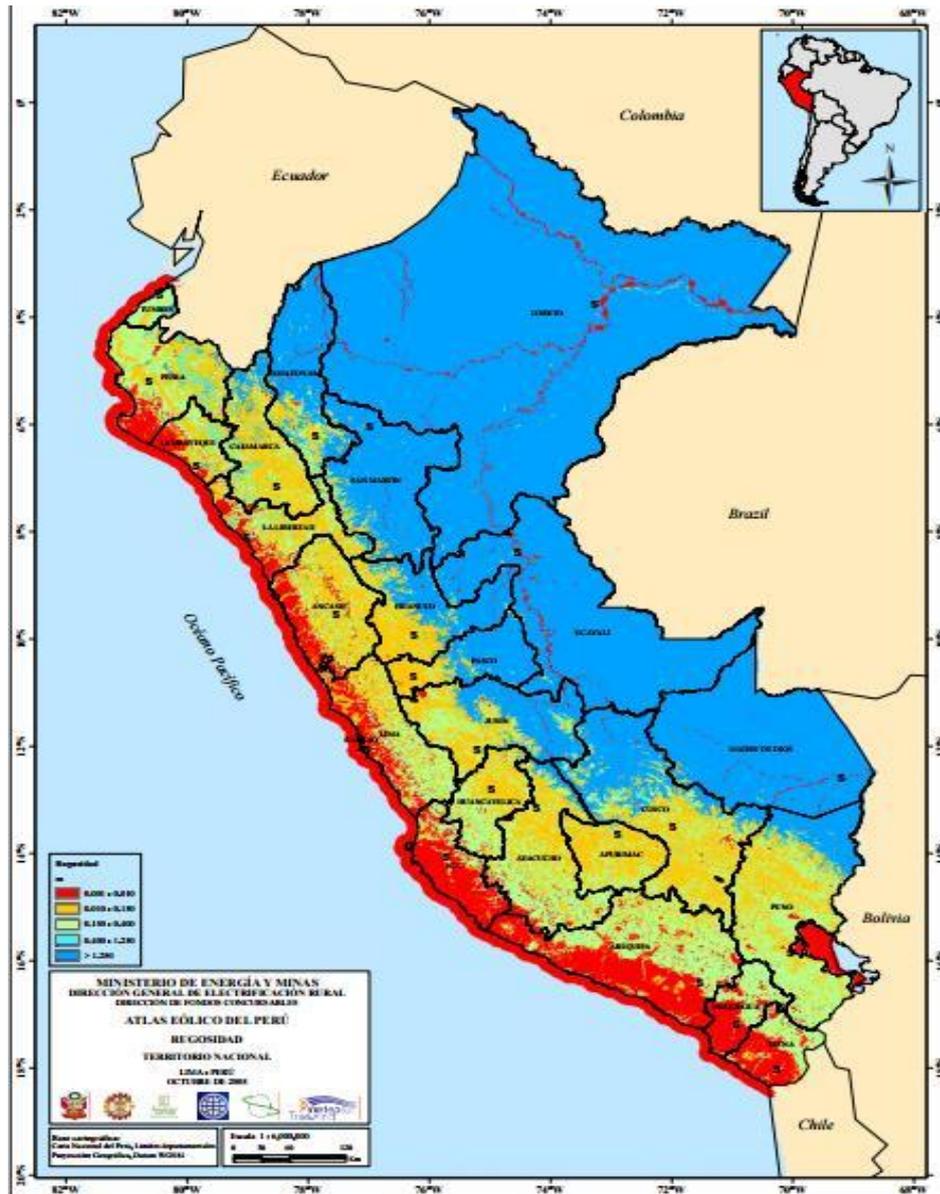


Figura 10: Mapa de Rugosidad

Fuente: Atlas Eólico del Perú, Lima – Perú

### 2.2.9 Estudios geológicos para ubicación de torres de alta tensión

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, se obtiene dividiendo el valor anterior entre un factor de seguridad de 3,0.

Con los datos obtenidos en el Ensayo de Corte Directo ( $\phi$ ,  $c$ ) 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:

$$q_{ult} = CN_C S_C + y_1 D_f N_q W_q S_q + 0.5 y_2 B N_y W_y S_y$$

Donde:

$q_{ult}$	=	Capacidad última de carga
$C$	=	Cohesión
$y$	=	Peso volumétrico
$B$	=	Ancho de diámetro
$D_f$	=	Profundidad de cimentación
$N_c, N_q, N_y$	=	Factores de carga
$S_c, S_q, S_y$	=	Factores de forma
$W_q, W_y$	=	Factores por nivel freático

Capacidad Portante Admisibile:

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

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 8

Parámetros de Angulo de fricción y arranque

Región geográfica	Ángulo de fricción	Ángulo de arranque
Costa	30°	20°
Sierra	35°	25°

Fuente: Hidrandina S.A. Estudio de los Costos de Peaje de Transmisión Secundaria (pág. 447).

## 2.2.10 Fuerzas actuantes en los cimientos de torres de alta tensión

En la figura se aprecia el diseño geométrico de una cimentación de una Torre de Alta tensión, a base de zapatas aisladas. Así mismo se puede apreciar cada una de las secciones que condicionaran los cálculos en estas estructuras.

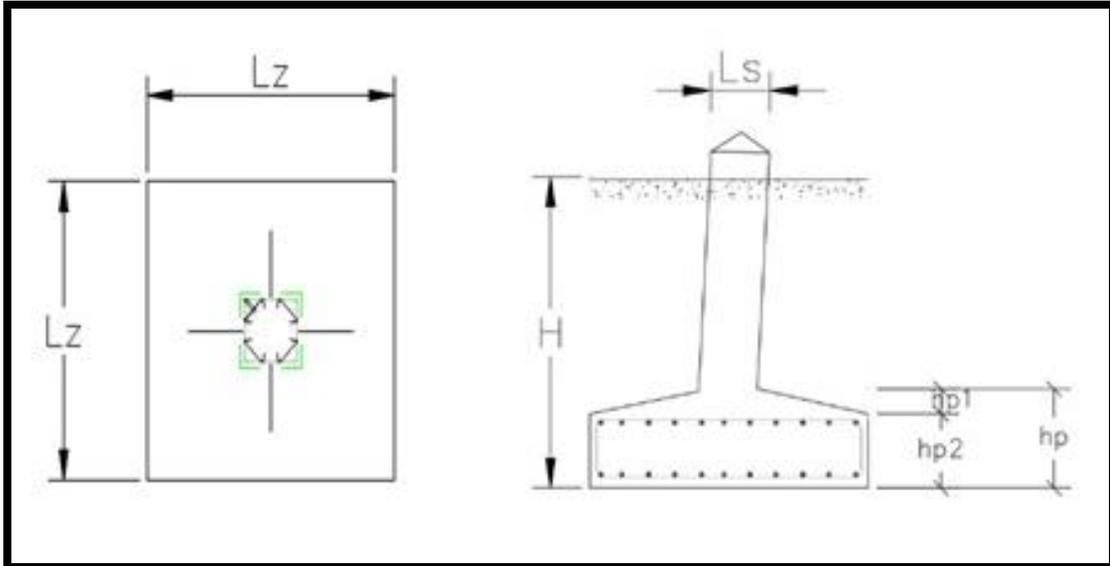


Figura 11 : Geometría de una zapata aislada

Fuente: De la cruz J. y Sánchez M. (2010). Diseño geotécnico de la cimentación a base de zapatas aisladas Pag. 35.

Donde:

$Lz$  = Longitud de zapata

$Ls$  = Longitud superior del cimiento

$hp$  = altura del peralte del dado de concreto

$H$  = altura de la zapata.

Este tipo de estructuras con características por el ángulo de inclinación  $\beta$  que presentan, este ángulo coincide con el montante de la torre en la extensión (ld); lo que provoca que los elementos mecánicos se apliquen con una excentricidad ( $d_c$ ), respecto al centro geométrico de la zapata.

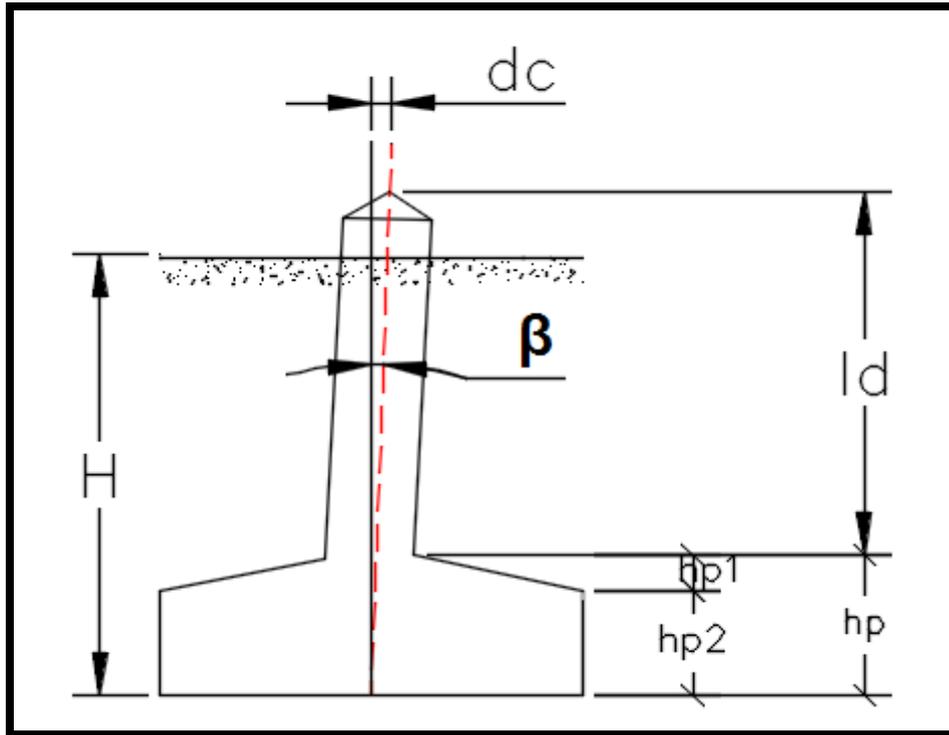


Figura 12: Distancia  $d_c$ , a la aplicación de la carga

Fuente: De la cruz J. y Sánchez M. (2010). Diseño geotécnico de la cimentación a base de zapatas aisladas Pág. 36

Donde:

$d_c$  = Distancia de inclinación

$\beta$  = ángulo de inclinación

$h_p$  = altura del peralte del dado

$l_d$  = longitud de pedestal.

Considerando este aspecto geométrico, en esta estructura actúan dos fuerzas: las cargas horizontales y las cargas verticales.

**Cargas Horizontales (F).** Cargas producidas por el tiro longitudinal de los cables conductores, tiro transversal del conductor (debido al ángulo), la carga de viento transversal sobre el conductor, tiro longitudinal del conductor (barras) y carga de viento sobre la estructura.

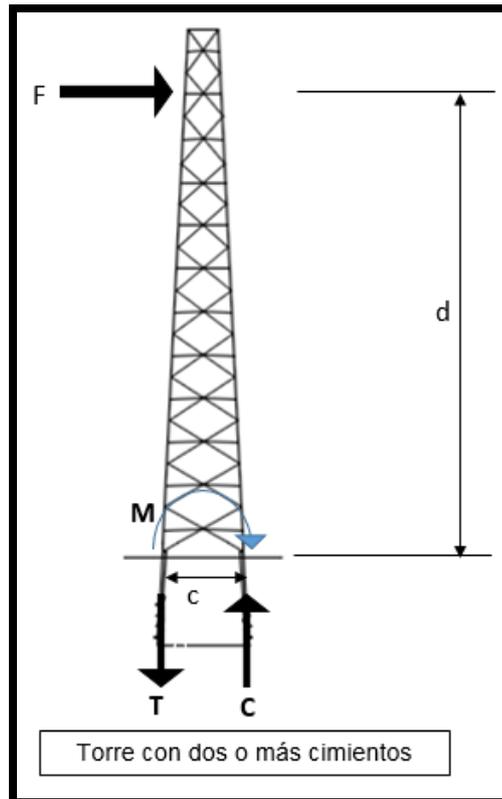
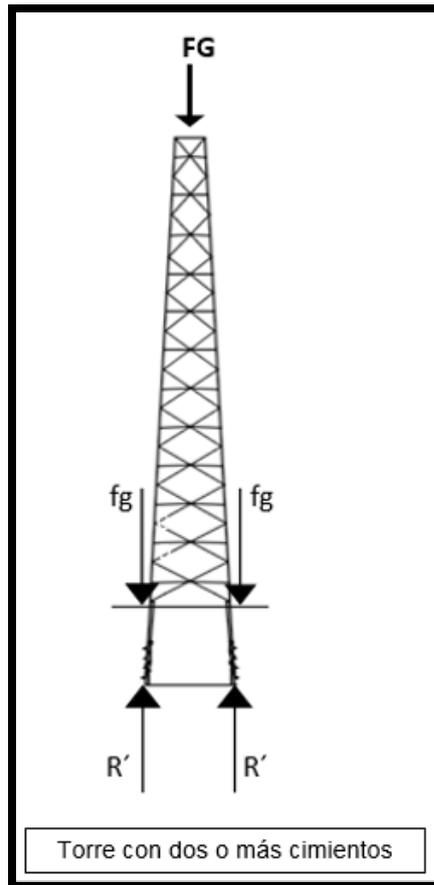


Figura 13: Cargas horizontales sobre la torre.

Fuente: Sacalxot W. (2005). Cimentaciones para Torres Auto soportadas

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.

**Cargas Verticales (V).** Estas cargas están definidas por el peso de los cables o conductores, las cadenas de aisladores y aisladores rígidos, el peso propio de la estructura metálica, el peso del cimiento del concreto, el peso del relleno y las cargas vivas provocadas por las actividades del equipo y personal encargado del mantenimiento de la torre. Las cargas verticales de la torre, se trasladan a través de la celosía metálica, determinando una carga puntual de compresión a los cimientos a través de cada uno de sus apoyos.



*Figura 14:* Cargas Gravitacionales sobre la torre.

Fuente: Sacalxot W. (2005). Cimentaciones para Torres Auto soportadas

Teniendo presente estas cargas puntuales, los cimientos se diseñan para que estas cumplan, con dos factores de seguridad de importancia:

F.S. VOLTEO : 1.5

F.S. ARRANQUE : 1.5

Presiones Actuantes < Presión Admisible (F.S.≥1.0)

### 2.2.11 Diseño de cimientos para Torres de alta tensión

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.

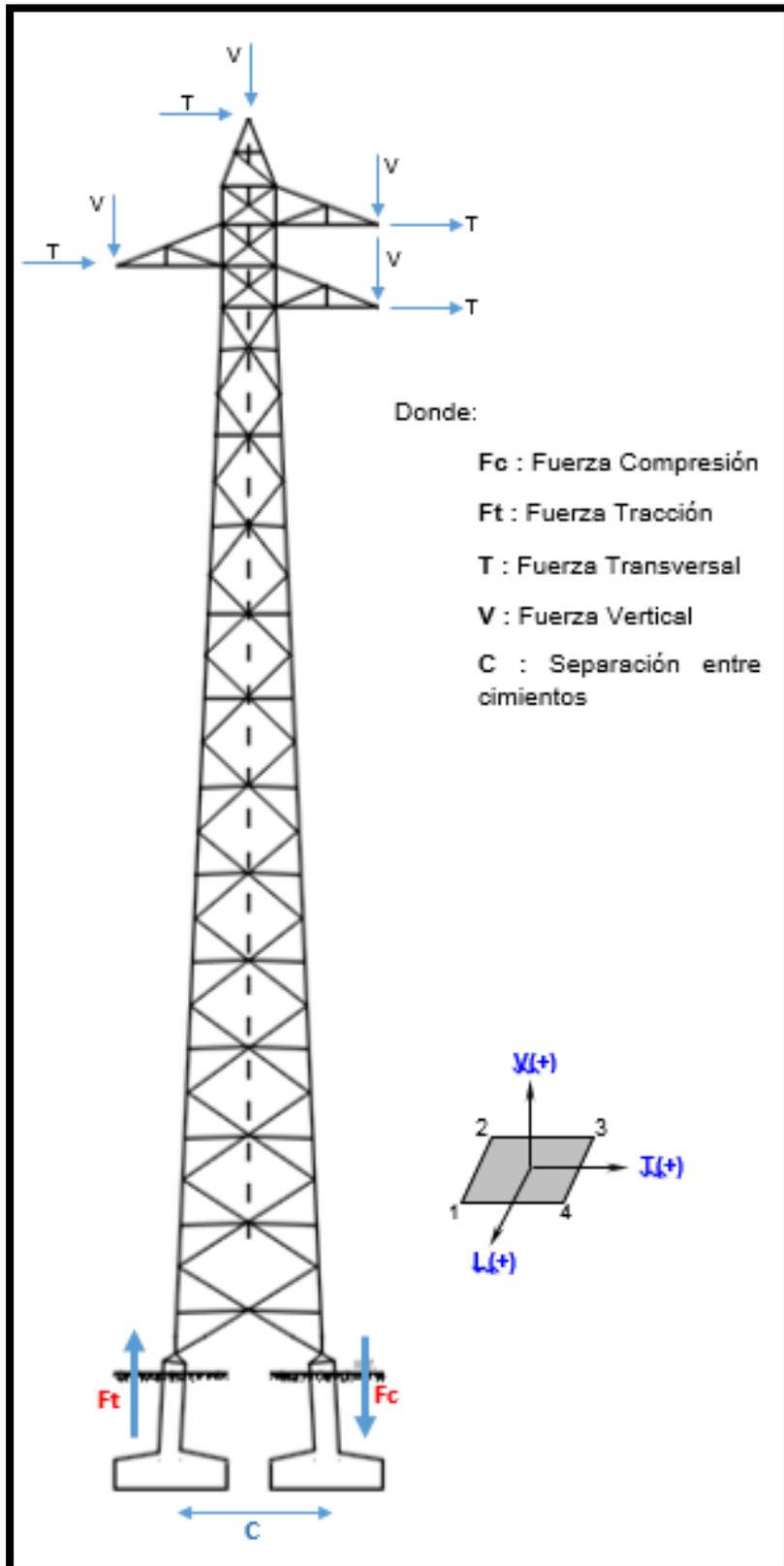


Figura 15 : Cargas verticales y transversales sobre la torre.

Fuente: Rossi A. (2017) Diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica.

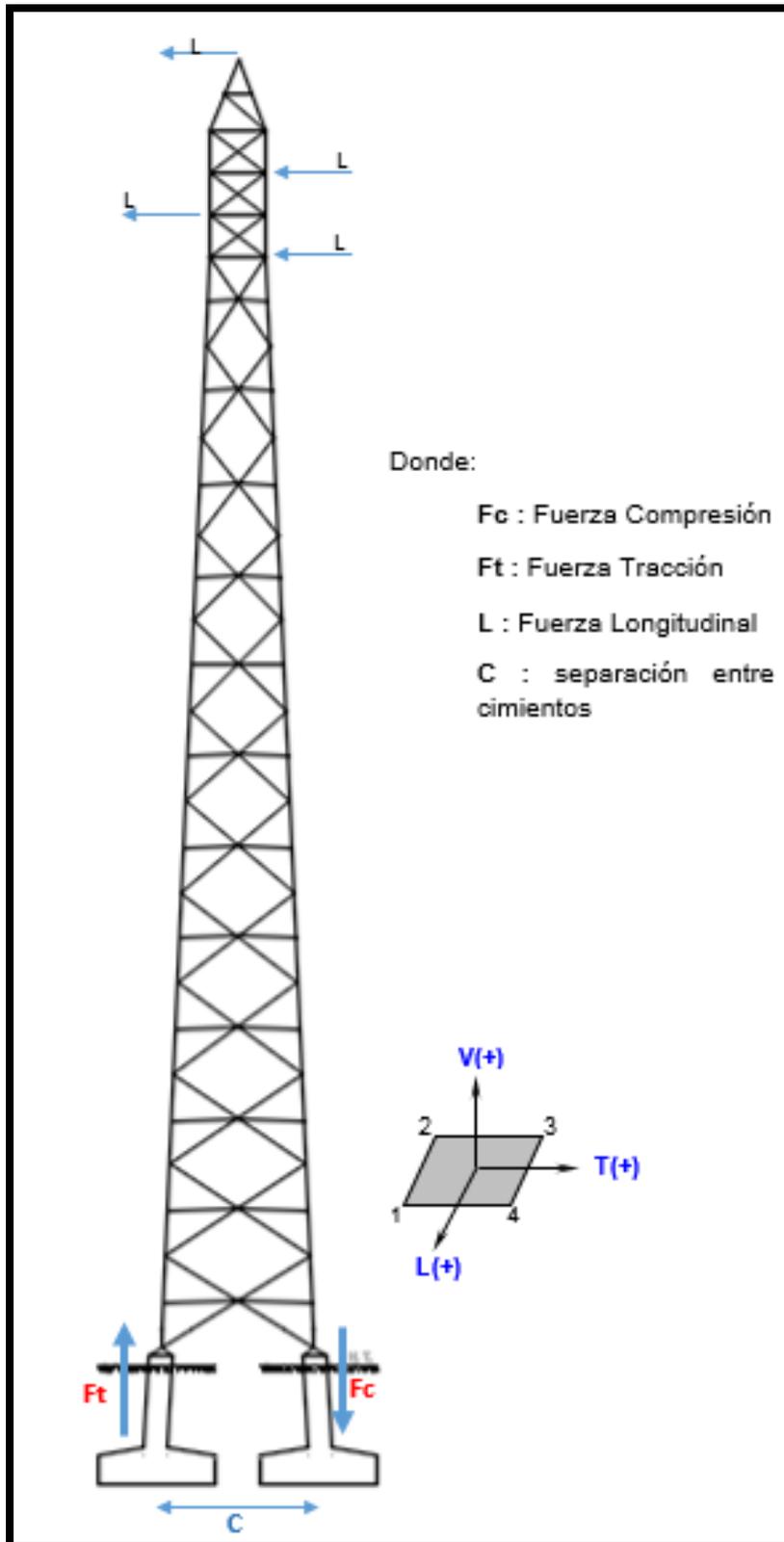


Figura 16 : Cargas longitudinales sobre la torre.

Fuente: Rossi A. (2017) Diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica. Pag. 75

## 2.2.12 Comprobación del cimiento por arranque.

Consiste en evaluar la relación entre las cargas resistentes al arrancamiento y la fuerza estabilizadora, dicha relación debe ser mayor que 1.5. Este valor es el 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, el peso propio de la cimentación, el peso de las tierras que arrastraría el cimiento de hormigón al ser arrancado.

**Fuerza estabilizadora.** - Para el cálculo de la fuerza estabilizadora se utiliza la siguiente formula:

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

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

-Cálculo del peso de la cimentación:

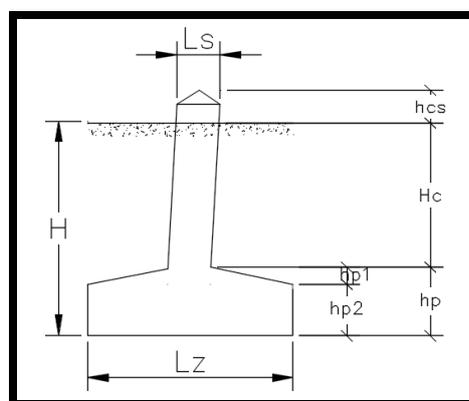


Figura 17: Cargas Gravitacionales sobre la torre.

Fuente: De la cruz J. y Sánchez M. (2010). Diseño geotécnico de la Cimentación a base de zapatas aisladas Pag. 35

$$P_{\text{cimiento}} = \delta_{\text{concreto}} \{Lz^2 \cdot Hp2 + (hp1/3)(Lz^2 + Lz^2 + Ls \cdot Lz) + Ls^2 \cdot (Hc + Hcs)\}$$

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

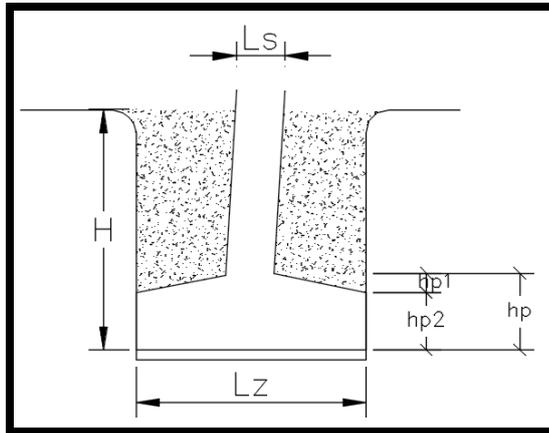


Figura 18: Peso de las tierras que gravitan (relleno) sobre la cimentación  
Fuente: Jon G. (2015) Diseño y cálculo de estructuras de cimentación y contención Módulo 4 (Pag. 02)

$$P_{\text{tierra}} = \delta_{\text{tierra}} \{H \cdot Lz^2 - (P_{\text{cimiento}} / \delta_{\text{concreto}})\}$$

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

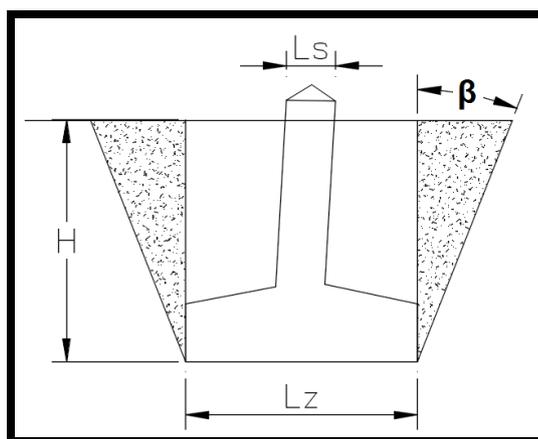


Figura 19 Peso de las tierras arrancadas según el ángulo natural del terreno  
Fuente: De la cruz J. y Sánchez M. (2010). Diseño geotécnico de la Cimentación a base de zapatas aisladas Pág. 45

$$P_{\beta} = \delta_{tierra} [(H/3)\{(Lz+2.H.\tan \beta)^2+Lz.(Lz +2.h.\tan\beta)+Lz^2\}-H.Lz^2]$$

-Cálculo del Volumen de Interferencia:

$$B = LZ/2 + H.\tan\beta$$

Existe interferencia si  $B > C/2$

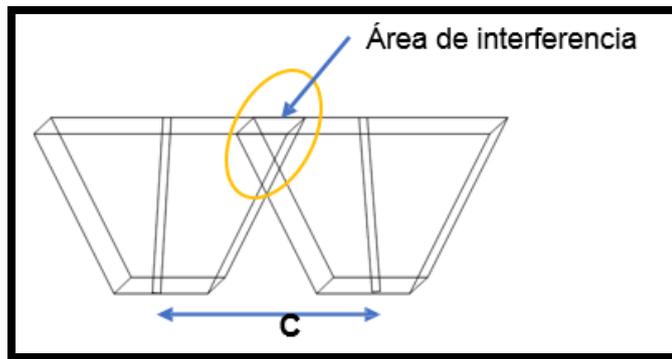


Figura 20: Volumen de interferencia de tierra

Fuente: Rossi A. (2017) Diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica. Pag. 79

Luego se reemplaza en:

$$V_{inter} = (B.(C-2B)^2)/4.\tan\beta$$

#### A. Verificación de la comprobación de arranque

$$\frac{P_{est.}}{F_{tracción}} > k$$

K=1.5 (Normales)

K=1.2 (anormales)

### 2.2.13 Comprobación a compresión

Según especifica el apartado 3.6.2 de la Instrucción Técnica Complementaria en Líneas aéreas con conductores desnudos 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.

$$\sigma_t = (F_{\text{compresión}} + P_{\text{cimiento}} + P_{\text{tierra}}) / \text{Área}$$

#### C. Comprobación a compresión:

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

### 2.2.14 Fuerza cortante para tornillos

Donde:

$$Ct = \frac{(n)(0.5)(Fub)A_{torn}}{Y_{m2}}$$

n = número de tornillos

f<sub>ub</sub> = resistencia última del acero del tornillo.

Y<sub>M2</sub> = Coeficiente de seguridad del tornillo, se suele utilizar 1,25.

A<sub>torn</sub> = Sección Transversal del tornillo

Según especifica el Reglamento de Lineas de alta tensión (RLAT) la fuerza a cortante debe ser la mitad de la fuerza, F<sub>2</sub>, con un coeficiente de seguridad de 1.5.

$$F_c > 0.75 \times F_2$$

### 2.2.15 Diseño estructural de torres de alta tensión

Para el diseño de la cimentación se considera la resistencia del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, 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<sub>c</sub> 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:

En el Reglamento Nacional de Edificaciones E-060, se determina que para evitar el asentamiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella, se debe verificar por cortante actuante  $V_u$  y cortante resistente  $V_c$ .

- Cortante actuante:

$$V_u = Hx$$

- Cortante resistente:

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

Donde:

$f_c$  = Resistencia del concreto.

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

$d$  = Peralte efectivo.

### B. Diseño por cortante

En el caso del diseño por cortante, en la NTP E-060, se caracteriza, por la falla por cortante en cimentaciones se asume que todo el cortante es absorbido por el concreto. La sesión se ubica a una distancia “ $d$ ” de la cara de la columna.

- Cortante actuante:

$$V_u = Hx$$

- Cortante resistente:

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

$$V_u \leq \phi V_c \quad \phi = 0.85$$

Donde:

$f_c$  = Resistencia del concreto.

$B$  = Base de la cimentación.

$d$  = Peralte efectivo.

### C. Diseño por flexión:

Para el diseño por Flexión Según especifica la NTP E-060, se busca el efecto mayor que pueda producir 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. Con esta prerrogativa se establece un parámetro para la cuantía mínima:

- Cálculo de la cuantía:

$$\text{Cuantía mínima: } 0.0018$$

- Cálculo del área de acero:

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

Donde:

$\rho$  = Cuantía.

$b$  = Base de la cimentación.

$d$  = Peralte efectivo.

#### 2.2.16 El concreto en torres de Alta tensión

Las cimentaciones de las torres de Alta Tensión son diseñadas en concreto reforzado, que se convierten en elementos de transmisión de las cargas de las estructuras al suelo, convirtiéndose en elementos que soportan dos cargas diferenciadas: compresión de cargas estáticas y dinámicas y cargas de tensión por el arranque que generan las cargas de empuje tanto de cables como del viento. Por lo que el diseño de estas estructuras es por el método de diseño de resistencia, que se ajusta a las disposiciones de la norma ACI.

El concreto en estas estructuras puede presentar fallas por compresión al presentar fallas de forma explosiva o violenta sin previo aviso. El concreto también puede presentar fallas por tracción y es uno de los principales efectos que deben ser controlados en los cimientos de Torres de alta tensión.

En la fase constructiva, la resistencia del concreto puede verse afectado por una mezcla inadecuada, una relación agua-cemento alta, así como por las propiedades del agregado y calidad el agua.

### **2.2.17 Cuantía del acero en los cimientos**

La cantidad de acero usada para los cimientos en las estructuras de Torres de Alta tensión debe de cumplir con una cuantía mínima de refuerzo, que está establecido según el tipo de concreto. Ortega (2015, p.59) señala que: “Teóricamente la cuantía máxima de refuerzo sería la cuantía balanceada o básica; sin embargo, en la práctica, una sección con este refuerzo es antieconómica”. En la construcción de torres de alta tensión, una disminución en la cuantía de acero puede provocar una disminución de la resistencia del concreto a momentos flexionantes, que finalmente afectaría al cimiento.

## **2.3 Definición de términos**

**Control de calidad.** - Procedimiento de control y verificación del cumplimiento de los estándares requeridos en cada fase constructiva.

**Arrancamiento.** - Esfuerzo a tensión generada por las fuerzas del viento, hielo o temperatura, tracción y tensado de los cables en las torres de Alta Tensión.

**Relación agua-cemento.** - Relación que determina la cantidad de cemento usada en una mezcla de concreto. La relación a/c influye en la resistencia del concreto, mientras más alta es esta relación el concreto es más fluido y tiene menos resistencia a compresión a los 28 días.

**Anclaje de la torre.** - Es un punto fijo que permite asegurar a la torres mediante un cable de fijación, el anclaje disminuye el riesgo de posibles caídas.

**Cable de alta tensión.** - Conductor de electricidad con aislamiento, está conformado por varios hilos de cobre trenzados, dependiendo del sistema de Alta Tensión, pueden carecer de aislamiento.

**Cimiento de una torre.** - Elemento estructural que tiene como objetivo transmitir las cargas de la Torre de Celosía y el peso propio de las mismas al terreno.

**Compresión.** - Sometimiento de un elemento estructural a fuerzas o cargas axiales.

**Alta tensión.** - Concepto dentro de fenómenos eléctricos para definir la transmisión masiva de electricidad, con magnitudes que oscilan entre los 35 kV <  $U$  < 500 kV.

**Material de relleno.** - Material que permite compactar o mejorar la capacidad portante del suelo, estos materiales pueden estar conformados por arena, agregado o tierra que acompañan al cimiento en la excavación.

**Líneas de transmisión.** - Parte del sistema del suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios como torres y cables, bobinas para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

La calidad de la cimentación es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.

### **2.4.2 Hipótesis específica**

a). La resistencia del concreto es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.

b). La cuantía del acero es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.

c.) El grado de compactación es adecuado en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.

## 2.5 Variables

### 2.5.1 Definición conceptual de la variable

#### Variable independiente

**Calidad de la cimentación:** El proyecto es el mejor vehículo para la definición y exigencia de los adecuados niveles de calidad de la obra. La calidad del proyecto aumenta en grado exponencial la calidad de la obra ejecutada. En el caso de los cimientos, previamente al proyecto, los estudios geotécnicos nos permiten conocer el terreno para diseñar y dimensionar el cimiento.

#### Variable dependiente

**Construcción de torres de alta tensión:** Una torre eléctrica o apoyo eléctrico (a veces denominada torreta) es una estructura de gran altura, cuya función principal es servir de soporte de los conductores eléctricos aéreos de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

### 2.5.2 Definición operacional de la variable

#### Variable independiente

**Calidad de la cimentación:** Existen algunas normativas que fijan el control de calidad que se debe llevar a cabo en determinadas unidades de obra durante la ejecución. Se debe tener en cuenta en la calidad de la cimentación a la resistencia del concreto, la cuantía del acero y el grado de compactación en la construcción de torres de alta tensión.

#### Variable dependiente

**Construcción de torres de alta tensión:** Las torres eléctricas de alta tensión son estructuras metálicas de gran altura, fabricadas en celosía de acero galvanizado y conocidas como torres auto soportadas tubulares o apoyos normalizados de celosía de acero galvanizado.

### 2.5.3 Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable Independiente</b> Calidad de la cimentación	El proyecto es el mejor vehículo para la definición y exigencia de los adecuados niveles de calidad de la obra. La calidad del proyecto aumenta en grado exponencial la calidad de la obra ejecutada. En el caso de los cimientos, previamente al proyecto, los estudios geotécnicos nos permiten conocer el terreno para diseñar y dimensionar el cimiento.	Existen algunas normativas que fijan el control de calidad que se debe llevar a cabo en determinadas unidades de obra durante la ejecución. Se debe tener en cuenta en la calidad de la cimentación a la resistencia del concreto, la cuantía del acero y el grado de compactación en la construcción de torres de alta tensión.	Resistencia del concreto	Esfuerzo
			Cuantía del acero	Cuantía balanceada de acero
				Cuantía mínima de acero
				Cuantía máxima de acero
			Grado de compactación	Densidad seca máxima
				Grado de humedad
<b>Variable Dependiente</b> Construcción de torres de alta tensión	Una torre eléctrica o apoyo eléctrico (a veces denominada torreta) es una estructura de gran altura, cuya función principal es servir de soporte de los conductores eléctricos aéreos de las líneas de transmisión de energía eléctrica.	Las torres eléctricas de alta tensión son estructuras metálicas de gran altura, fabricadas en celosía de acero galvanizado y conocidas como torres auto soportadas tubulares o apoyos normalizados de celosía de acero galvanizado.	Celosía de acero galvanizado	Superficie del metal

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLOGICO**

#### **3.1 Método de investigación**

La investigación realizada se fundamentó en el Método general Científico que está dividido en cinco etapas: Planteamiento del problema, Marco Teórico, Formulación de hipótesis y variables, Comprobación de hipótesis y análisis de resultados (Moran y Alvarado, 2010, p.12), y en los Métodos específicos Analítico y Sintético en vista que se disgregó la variable independiente y dependiente en sus componentes, para posteriormente elaborar una respuesta válida a la problemática planteada. Morán y Alvarado (2010, p.12) señalan que el método Analítico Sintético “Estudia los hechos a partir de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas de forma individual, luego integra dichas partes para estudiarlas de manera holística e integral”.

#### **3.2 Tipo de investigación**

El trabajo de investigación realizado se cataloga como APLICADA, debido a que se busca estudiar un problema frecuente en la construcción de cimentaciones para torres de Alta Tensión, dentro del proceso constructivo se presentan deficiencias constructivas que afectan al producto final como es el cimiento. Para Vargas (2009, p.6) citando a Murillo (2008) define que la investigación aplicada se caracteriza por buscar la aplicación o utilización del conocimiento adquirido, para adquirir nuevos conocimientos. Las conclusiones de la investigación son válidas, por ser el resultado de una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. En este sentido el presente trabajo de investigación pretende determinar cómo la variación de los principales elementos de una cimentación, modifican las características solicitadas para el cimiento en el expediente técnico, una respuesta que permitirá desarrollar una

dosificación y cuantía adecuada para solucionar los problemas en la construcción de estas estructuras, así como en la densidad del material o suelo donde se empotra la cimentación de una torre.

### **3.3 Nivel de la investigación**

El presente proyecto tiene un alcance DESCRIPTIVO, para Moran y Alvarado (2010, p.8) la investigación se puede clasificar por los conocimientos que se adquieran. En este sentido la Investigación Descriptiva es aquella que busca especificar las propiedades o características de cualquier fenómeno que se someta a un análisis. Mientras que la investigación correlacional tiene como propósito evaluar la relación existente entre dos o más conceptos, categorías o variables, en este caso concreto la relación que existe entre las cualidades del concreto, la cuantía de acero, el grado de compactación y la construcción de cimentaciones para torres de alta tensión.

### **3.4 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es no experimental ya que no existieron manipulación deliberada de variables.

En el aspecto operativo del diseño de investigación del presente proyecto, se realizó los siguientes pasos o fases necesarias:

Identificación de la problemática en la construcción de las torres de Alta tensión correspondiente al proyecto “Línea de transmisión 138 kV S.E. La Virgen - S.E. Caripa”, donde en la fase constructiva se presentaron inconvenientes técnicos y constructivos. Se debe señalar que muchas de estas deficiencias se deben a aspectos constructivos, logísticos y de personal de obra que en muchos casos no está calificada.

Recolección de la información de fuentes confiables, como protocolos de calidad, ensayos de roturas a compresión de probetas a los 7, 14 y 28 días. Pruebas de compactación y protocolos de calidad en las cuantías del acero.

Procesamiento de la información, clasificando las muestras con resultados inferiores a los establecidos en los ensayos y documentos de control.

Modelamiento de las cimentaciones en el software SAP 2000, mediante el cual se ingresó la información procesada y se realizó los análisis correspondientes con  $f'c < 210 \text{ kg/cm}^2$ , se consideró además un modelo con una menor cuantía de acero  $\rho_{\text{min}}$ , y el modelo con un grado de compactación menor a lo especificado en el expediente técnico. Finalmente se realizó una discusión de resultados para la verificación de las hipótesis.

### 3.5 Población y muestra

#### 3.5.1 Población

La población está conformada por las 160 torres de alta tensión construidas en el proyecto “línea de transmisión 138 kV S.E. La Virgen - S.E. Caripa”, ubicada en la región Junín, El proyecto transcurre de la Central Hidroeléctrica “La Virgen” en la Provincia de Chanchamayo, Distrito de San Ramón (850 m.s.n.m.), hasta la Sub Estación Caripa en Tarma, La Unión (3450 m.s.n.m.)



Figura 21 : Ubicación del proyecto C.H La Virgen

Fuente: Ficha Línea Base – OSINERMIN

Por la magnitud del proyecto, para los estudios de mecánica de suelos se ha dividido en tres sectores o zonas (Zona 0, Zona 1 y Zona 2), realizándose un promedio de ocho calicatas por cada zona. En la investigación se ha considerado esta misma división, para la elección de la estructura sometida al análisis, la ubicación geográfica influirá en la elección de la zona de peligro sísmico establecido en la norma técnica peruana E030. En la Figura 22 se puede apreciar las zonas en las que se ha dividido el proyecto de transmisión eléctrica.



Figura 22: Zonas de las Líneas de Transmisión

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos, La Virgen SAC

### 3.5.2 Muestra

La muestra se ha obtenido mediante un muestreo no probabilístico, de tipo intencionado, en vista que se obtuvo el acceso al proceso constructivo y documentación de las fundaciones del proyecto de las torres de Alta tensión, condición que permitió realizar el modelamiento de la estructura con las posibles deficiencias generadas por los inadecuados procedimientos constructivos. Los resultados de las muestras de concreto se obtuvieron mediante el análisis de los resultados de los ensayos de resistencia definidas mediante las normas NTP 339.033 Y ASTM C-31 que establece que se debe elaborar, curar y transportar las probetas cilíndricas de 150mm por 300mm para evaluar la resistencia del concreto colocado en obra ensayados a los 28 días.

## **3.6 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos y medición**

### **3.6.1 Trabajo de campo**

Para el proyecto se ha participado en la construcción de una torre de alta tensión, verificando in situ el proceso constructivo de la fundación de la torre, verificando el cumplimiento de las normas vigentes, el expediente técnico y tratando de identificar las posibles deficiencias que se puedan presentar en el trabajo ejecutado. Se hizo un mayor énfasis en los materiales y el proceso constructivo, en vista que en estos procedimientos se genera una disminución de las propiedades exigidas en el diseño de ingeniería, pudiendo fallar, por ejemplo, en la relación agua – cemento, elaboración y mezcla del concreto, inadecuada técnica para la compactación del material del relleno, etc.

### **3.6.2 Análisis documentario**

En esta fase se realizaron las siguientes actividades, en orden secuencial: Análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión de las probetas siguiendo la norma NTP 339.034 y ASTM C, donde se realizó las siguientes actividades:

- Prensa Hidráulica  $f_c$  para la Hoja de registro de Ensayo de compresión.
- Flexómetro y Vernier para la Hoja de registro de cuantía de acero.
- Cono de Arena Densidad para el registro del grado de compactación.

### **3.6.3 Modelamiento y resultados:**

En esta fase se procedió al modelamiento de la estructura en el software SAP e ingreso de la información obtenida de la fase de campo y análisis documentario, procediendo a realizar la clasificación y ordenamiento de los resultados obtenidos para la fundación de la torre de Alta tensión tomada como muestra.

### **3.7 Modelamiento convencional para diseño.**

El estudio de ingeniería de obras civiles se ha desarrollado tomando en cuenta todas las cargas a las que estarán sometidas las torres de alta tensión. En función de la naturaleza del terreno y sus parámetros geotécnicos, se optó por utilizar como cimentación de las torres de alta tensión, zapatas aisladas de concreto armado. En el cálculo de la estabilidad de la fundación al arrancamiento, el factor de seguridad, es decir la relación entre la fuerza total resistente y la fuerza transmitida por la estructura, es mayor o igual a 1.0

En general, de acuerdo al tipo de torre utilizada, se diseñó las fundaciones, considerando en primer lugar los esfuerzos a nivel de la fundación y en segundo lugar las características de los tipos de suelos encontrados en el terreno. Como criterio general, las fundaciones son capaces de soportar la máxima carga de tracción (arranque) y transmitir al terreno una presión inferior a la presión máxima admisible, siendo esta última el menor valor obtenido de aplicar las ecuaciones de capacidad de carga por corte o la presión que cause el asentamiento admisible. Es por esta razón que se eligió, para cada tipo de torre, los esfuerzos máximos de tracción y de compresión, así como los esfuerzos de corte asociados, que se obtienen de las respectivas memorias de cálculos de las estructuras metálicas (cargas a nivel de fundaciones).

En el diseño del concreto armado de las fundaciones (zapata y pedestal), se ha considerado utilizar cuantía mínima recomendadas en el R.N.E.0.60, solo cuando las cuantías calculadas debido a los esfuerzos actuantes amplificados sean menores a estas.

#### **a. Alcances para el diseño**

La línea de transmisión de 138 kV comprende desde el patio de llaves ubicado en la CH La Virgen hasta la SE Caripa ubicado en el lado izquierdo de la carretera central antes de la localidad de Junín; esta línea de transmisión en 138 kV llevará estructuras de torres metálicas de acero galvanizado en celosía y conductor tipo AAAC de 1000 MCM y 507 mm<sup>2</sup> de sección.

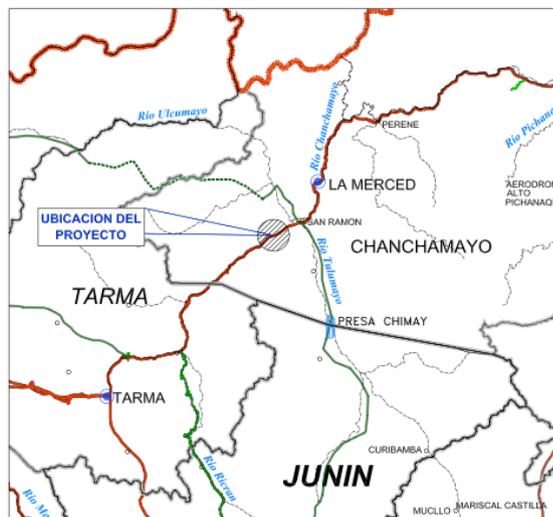
Las estructuras metálicas de acero galvanizado en celosía serán de simple terna con disposición triangular (con dos fases inferiores al mismo nivel) y con dos cables de guarda uno de fibra óptica tipo OPGW y el otro de acero galvanizado. El recorrido de la línea de transmisión en 138 kV CH La Virgen – SE Caripa comprende una longitud total de 61.79 km.

El trazo de ruta de la línea de 138 kV se ubica en paralelo con la carretera de penetración asfaltada Tarma – San Ramón, en un tramo y por carreteras afirmada que pasan por la localidad de Leticia hasta llegar a la SE Caripa. Así mismo, la línea de 138 kV en estudio cruza líneas de 220 kV, 72.5 kV y 60 kV.

### **b. Ubicación geográfica**

La ubicación geográfica del proyecto corresponde:

Punto Inicial	:	CH La Virgen	(1140msnm)
Punto Final	:	SE Caripa	(4055msnm)



*Figura 23 : Ubicación Geográfica*

Fuente: Mapa región Junín

### **c. Características eléctricas**

- Conductor Empleado : AAAC de 507 mm<sup>2</sup> de sección.
- Altura de torre : 31.6
- Tipo de sistema : Trifásico.
- Tensión : 138 kV

### **d. Geología y sismicidad**

En la geología regional las características principales y básicas que son determinantes en el proyecto se dan por los siguientes valores.

- T° Ambiente máxima : 25°C
- T° Ambiente promedio : 10°C
- T° Ambiente mínima : -5°C

Las condiciones ambientales de la zona del proyecto generalmente se caracterizan por presentar la temporada de lluvias en el período entre los meses de diciembre y marzo.

El rango de las altitudes de la zona de estudio se establece de acuerdo con la tabla 250-1-B del CNE,

### **e. Geomorfología**

Desde el punto de vista geomorfológico, el tramo comprendido entre SE La Virgen y la SE Caripa se emplazará sobre las unidades denominadas Valle Fluvial, Ladera Subandina, Ladera Cordillerana y Altiplanicies (zona interandina). La línea recorrerá terrenos de topografía principalmente accidentada y de pendientes abruptas, atravesando valles de relieve en "V" encañonados y estrechos.

En general, el recorrido de la Línea de Transmisión La Virgen - Caripa se encuentra emplazado sobre una secuencia de rocas de origen sedimentario,

en particular de composición carbonatada o de ambientes cársticos. A lo largo del trazo también se ha podido observar afloramientos de rocas metamórficas, sedimentarias e intrusivas cuyas edades varían entre el Neo-Meso Proterozoico y el Cuaternario.

La principal fuente sísmica asociada al área del proyecto y que podría influir sobre el recorrido de la línea es el proceso de subducción de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental).

El diseño de nuestra torre de estudio queda considerada en la zona 2 y ella contempla la Altiplanicie anteriormente descrita.

#### **f. Sismicidad**

Dentro del Territorio se ha establecido diversas zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor ocurrencia de sismos. Según el Mapa de Zonificación Sísmica propuesto por la Norma de Diseño Sismo resistente E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, el área en estudio se encuentra comprendida en la Zona 2 (con respecto a zonificación sísmica), clasificada como zona de alta sismicidad. Los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

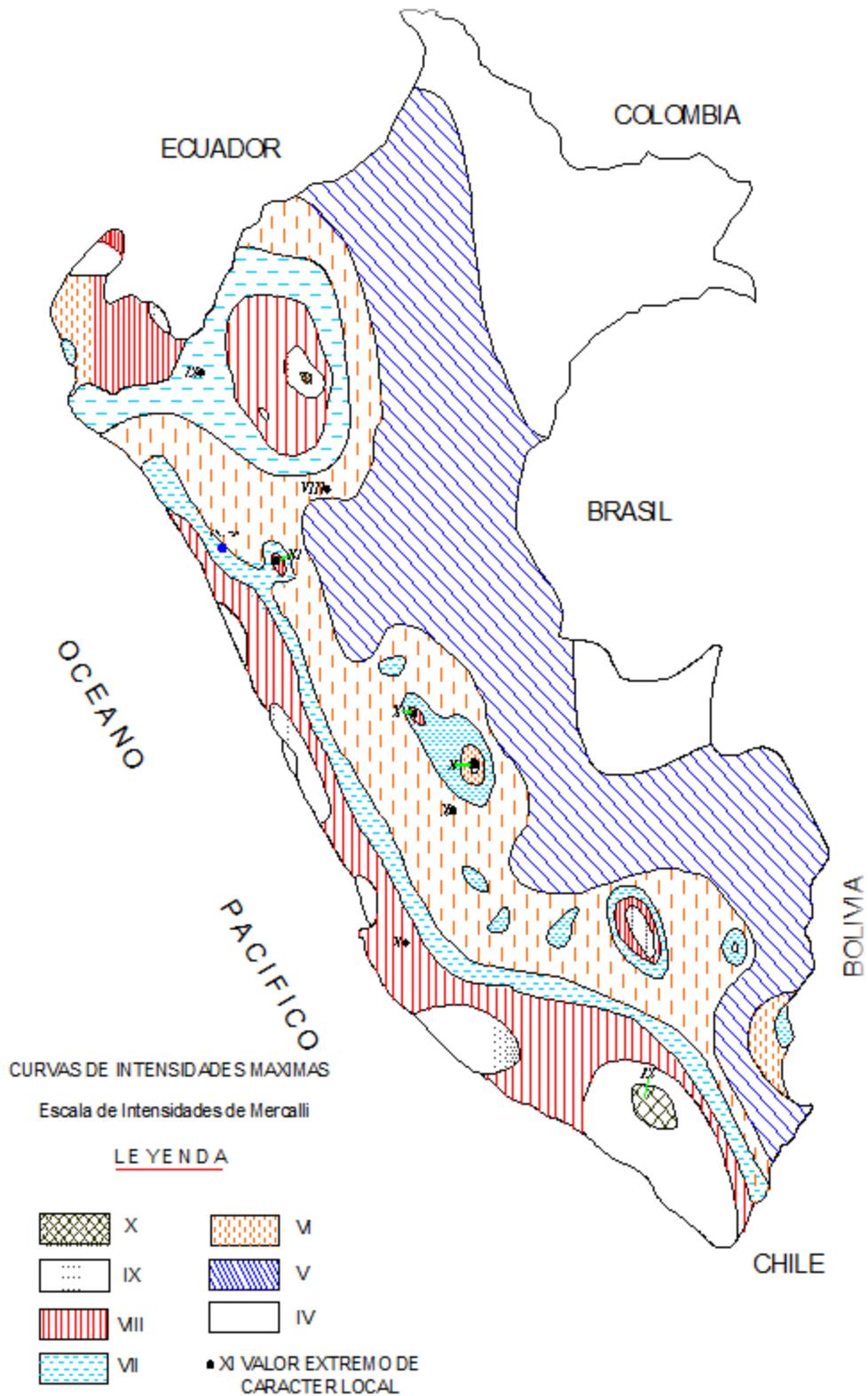
De acuerdo a los tipos de perfiles de suelos identificados y el uso de la Norma de Diseño Sismo Resistente se considera  $S_2$  suelos Intermedio, periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo para el factor de amplificación del suelo  $S = 1.15$ . Concluyendo en el Periodo de la plataforma  $T_p(S) = 0.6$  y el periodo que define el inicio de la zona  $T_I = 2$ , presentados por (Silgado, 1978). El mapa de la zona sísmica de máximas intensidades observadas en el Perú, el cual está basado en isosistas de sismos peruanos y datos de sismos históricos recientes. (Alva Hurtado, 1984).

De los mismos resultados usando RNE FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA  $C = 2.5$

Dentro del territorio peruano se ha establecido diversas zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de los sismos.

Según el mapa de zonificación sísmica y de acuerdo a las Normas Sismo – Resistente E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, al área de este estudio le corresponde una sismicidad alta de intensidad media mayor de VI en la Escala Mercalli Modificada.

Figura 24: Escala de Intensidades de Mercalli



Fuente: Mapa de Escala Mercalli Modificada

Figura 25: Zonificación Sísmica



Fuente: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú

### **3.7.1 Estudio de suelos**

#### **A. Calicatas**

Las calicatas fueron complementadas con el registro de los materiales expuestos de los cortes en los taludes en la línea de cimentación proyectado, alcanzando profundidades máximas de 1.50 m. Los registros se han realizado de acuerdo a la Norma NTP 339.150.

Las calicatas fueron excavadas manualmente, contando para ello con el equipamiento necesario para la ejecución de los trabajos correspondientes.

#### **B. Muestreo**

Después y durante la prospección, se procedió a la extracción de muestras representativas disturbadas para su procesamiento en el Laboratorio de Mecánica de Suelos.

Adicionalmente a la exploración en campo se efectuó ensayos de densidad "in-situ", clasificación visual y manual de los depósitos de suelos granulares encontrados y fondo de los sondeos, los cuales definieron el perfil estratigráfico

#### **C. Napa freática**

Se ha observado a nivel de la cimentación y hasta el fondo de las excavaciones, que hay total ausencia de la Napa Freática, por lo que no generará compromiso a futuro inmediato.

#### **D. Contenido de humedad**

Durante la ejecución de las calicatas, se tomaron muestras de cada estrato detectado y a la profundidad más conveniente para describir la variación del contenido de humedad natural de los materiales de suelos finos y granulares encontrados en cada sondeo.

CONTENIDO DE HUMEDAD = 5.3 %

## E. Ensayos estándar

Con las muestras alteradas obtenidas en las calicatas, se realizaron ensayos estándar, los cuales están representados por análisis granulométrico por tamizado y límites de Atterberg (líquido y plástico). Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materiales (ASTM). Las normas para estos ensayos son los siguientes:

- Método de ensayo para el análisis granulométrico: NTP 339.128
- Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e Índice de plasticidad de suelos: NTP 339.129

De las paredes y fondo de la calicata donde se exponen claramente los estratos diferenciados de los suelos granulares, se identificó el perfil estratigráfico, procediéndose a la clasificación manual y visual de las muestras representativas, para luego realizar los ensayos de laboratorio como análisis granulométrico por tamizado, límites de consistencia los que nos determinaron las características físicas del suelo muestreado. Con la confirmación de los resultados obtenidos de los trabajos de Campo y Ensayos de Laboratorio, se procedió a la clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de suelos - SUCS, y descripción visual Manual según Norma ASTM-D-2488 American Association of State Highway and Transportation Officials. Y de la clasificación SUCS y ASSTHO correspondiente:

- Clasificación SUCS = ML
- Clasificación ASSTHO = A-7-6 (Suelo arcilloso)
- Grava = 13.2
- Arena = 29.2
- Finos = 57.6
- Limite Líquido = 43.8
- Limite Plástico = 29.3
- Índice de plasticidad = 14.5

## **F. Ensayos especiales**

Los ensayos especiales se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM) a norma Aplicable NTP 339. Las normas para estos ensayos son las siguientes:

Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo en suelos bajo condiciones consolidadas no drenadas: NTP 339. 171.

-Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> )	=	0.07
-Angulo de Fricción (°)	=	22.30°

## **G. Ensayos químicos de suelos**

Para impedir la acción destructiva de los sulfatos, es indispensable la buena compacidad de los concretos. Además, es posible seleccionar cementos portland con la calidad adecuada como los denominados en la normalización como el tipo I, de moderada resistencia a los sulfatos y el tipo V, de alta resistencia a los sulfatos. Para determinar el grado de agresividad del suelo a la estructura de cimentación, se han ejecutado análisis químicos determinando la concentración de iones sulfatos solubles en las muestras de suelo. Los procedimientos para estos ensayos están descritos en la norma NTP 339.177 y NTP 339.178.

Figura 26: Contenido máximo de ion cloruro

Tipo de Elemento	Contenido Máximo de Ion Cloruro Soluble en agua en el concreto expresado como % en peso del cemento
Concreto prensado	0.06
Concreto Armado expuesto a la acción de cloruros	0.1
Concreto Armado no protegido que puede estar sometido a un ambiente húmedo pero no expuesto a cloruros. (incluye ubicaciones donde el concreto puede estar ocasionalmente húmedo tales como cocinas, garajes, estructuras ribereñas y áreas con humedad potencial por condensación)	0.15
Concreto Armado que deberá estar seco o protegido de la humedad, recubrimientos impermeables.	0.8

FUENTE: MTC-E-217 2000

Figura 27: Límites Permisibles de Agresividad del suelo al concreto

Partículas en la masa de suelo	Partes por Millón (Ppm.)	Grado de Alteración	Observaciones
*Sulfatos	0 – 1000	Despreciable	Ocasiona un ataque químico al concreto de las cimentaciones
	1000 – 2000	Moderado	
	2000 – 20000	Severo	
	> 20000	Muy Severo	
**Cloruros	> 6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos
** Sales Solubles Totales	> 15000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación

FUENTE: MTC-E-217 2000

Para el caso de los cloruros el Reglamento Nacional de Construcción indica que la suma de los contenidos de ion cloruros presentes en los agregados, aditivos y agua que conformaran el concreto no exceda los valores permisibles establecidos

Para este estudio se realizó los ensayos químicos de sales solubles totales, contenido de sulfatos y contenido de ion cloruro a la muestra representativa de suelo de fundación de la estructura, obteniéndose los resultados que se indica a continuación:

-Potencial de Hidrogeno (PH).	=	7.58
-Sales solubles totales (Ppm).	=	142.32
-Contenido de Ion Sulfatos (Ppm).	=	42.25
-Contenido de Ion Cloruro (Ppm).	=	73.21

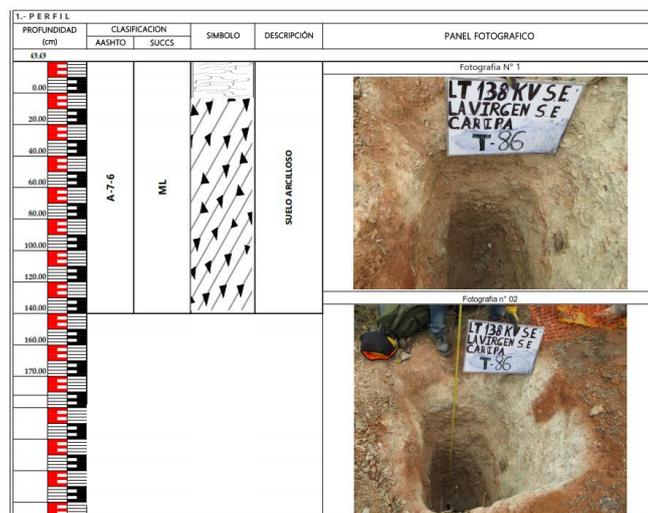
Los resultados se encuentran por debajo de los límites permisibles de agresividad al concreto, las concentraciones de cloruros, sulfatos, sales son bajas, por lo tanto para la cimentación de las torres, se usara el cemento portland tipo I (uno), la agresividad del suelo al concreto y acero.

## H. Perfil estratigráfico

La evaluación de campo para el proyecto "LT 138 KV S.E. LA VIRGEN-S.E. CARIPA",

Mediante los sondeos y ensayos de laboratorio realizados han permitido identificar los estratos que conforman el terreno.

Figura 28: Perfil estratigráfico de campo



Fuente: Elaboración Propia

## I. Análisis de la resistencia de suelo de cimentación

Según el método de seguridad global se basan en las recomendaciones de Terzaghi y los aportes de Vesic, que integran, además de los factores de carga, los factores de influencia para la forma. El método determina una capacidad última del terreno y luego halla la capacidad admisible dividiéndola entre un factor de seguridad igual a 3, como promedio.

Generalmente las teorías desarrolladas tienen su base en hipótesis simplificadas del comportamiento de los suelos. El problema de capacidad portante se reduce a los casos, de presencia de suelos friccionantes. Terzaghi, propone un mecanismo de falla para un cimiento poco profundo que posteriormente Vesic (1973), proporciona algunas ideas sobre la capacidad portante, considerando un factor adicional, ocasionado por los efectos de la forma de la cimentación, tal como se muestra.

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

Dónde:

$q_{ult}$	=	Capacidad última de carga
$\gamma$	=	Peso Volumétrico.
$B$	=	Ancho o diámetro de la cimentación
$D_f$	=	Profundidad de cimentación
$N_c, N_q, N_\gamma$	=	Factores de carga
$S_c, S_q, S_\gamma$	=	Factores de forma
$W_q, W_\gamma$	=	Factores por nivel freático

Los factores de forma son parámetros adimensionales que dependen principalmente del ángulo de resistencia al esfuerzo cortante del suelo y de la geometría de la cimentación.

De donde se aprecia un rango de valores que se encuentra comprendido entre:

Capacidad portante:

1.13 kg/cm<sup>2</sup> a 0.80 mts de Profundidad

1.72 kg/cm<sup>2</sup> a 2.00 mts de Profundidad

Valores que varían de acuerdo a la profundidad y geometría de la cimentación además a mayor profundidad se observa que se va ganando propiedades de resistencia.

Los asentamientos producidos debido a la transmisión del peso al subsuelo en la zona activa de cimentación granular se encuentran debajo de los rangos permitidos debido al tipo de material existente, siendo gravas arcillosas, gravas limosas, arenas y limos, cuyos valores de asentamiento inmediatamente son menores al límite permitido (2.54 cm), por lo tanto no se espera mayores problemas referidos al asentamiento del tipo de estructura a cimentar en la zona.

De donde el asentamiento es 0.62 cm. Como máximo permitido hasta 2.54 cm.

Los asentamientos diferenciales si sobre pasa la pulgada (2.54 cm) podría comprometer la estructura, siendo el asentamiento máximo tolerable para estructuras convencionales.

### **3.7.2 Análisis estructural**

#### **A. Análisis del viento**

Según el Código Nacional de Electricidad

$$PV = K \times V^2 \times Sf \times A$$

Donde:

PV = Carga en Newton

K = constante de Presión

0.613 a 3 000 msnm

0.455 iguales o mayores a 3 000 msnm

V = Velocidad del viento en m/s  
 Sf = Factor de forma  
 (1.00 para conductores, cables de guarda y cadenas de aisladores)  
 (3.20 para torres metálicas.)

Tabla 9: Viento y temperatura en estructuras de transmisión eléctrica

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

Fuente: Código nacional de Electricidad - CNE Pág. 212

Tabla 10: Viento, hielo y temperatura en estructuras de transmisión eléctrica

<b>Tabla 250-1-B</b>				
<b>Viento, hielo y temperatura para las áreas de carga 1, 2 y 3</b>				
<b>(Para ser utilizado con la Regla 250.B)</b>				
Zona de carga	Area 0 elevación menor de 3 000 m.s.n.m.	Area 1 elevación 3 000-4 000 m.s.n.m.	Area 2 elevación 4 001-4 500 m.s.n.m.	Area 3 elevación a partir de 4 500 m.s.n.m.
<b>Caso de sólo viento</b>				
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
<b>Caso de sólo hielo</b>				
Grosor radial del hielo mm	No hay	6 mm	25 mm	50 mm
Temperatura	0 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C
<b>Caso combinado de hielo y viento</b>				
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

Fuente: Código nacional de Electricidad - CNE Pág. 214

Reemplazando los valores de acuerdo a las tablas del CNE La presión de viento para los elementos de la línea de transmisión son las siguientes:

- Para conductor, cables de guarda y aisladores

$$P_v = 148.40 \text{ N/m}^2 = 15.13 \text{ kg/m}^2$$

- Para estructuras de celosía (torres)

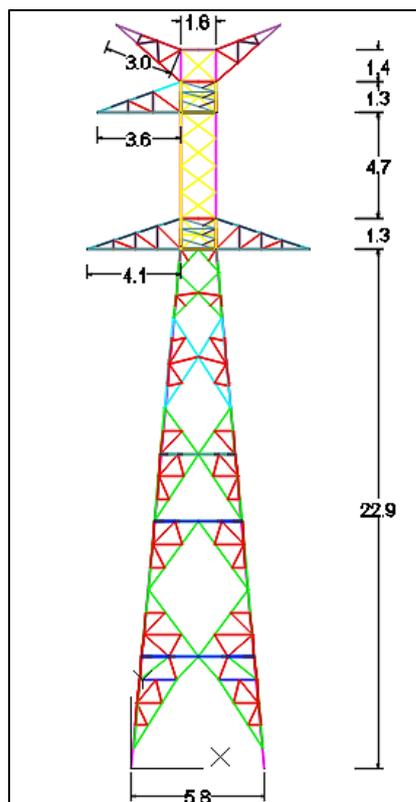
$$P_v = 474.88 \text{ N/m}^2 = 48.42 \text{ kg/m}^2$$

(A usarse en la aplicación del viento a la estructura)

### B. Determinación de cargas en la torre.

Las dimensiones físicas de la estructura se muestran en el gráfico siguiente para con estas poder determinar las áreas donde serán aplicadas las cargas:

Figura 29. Características de la torre de diseño



Fuente: Elaboración propia

De donde se identifican los siguientes valores:

Tabla 11: Componentes geométricos de la torre de diseño

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Hs	22.90	m
Hc1	1.30	m
Hc2	4.70	m
Hc3	1.30	m
Hc4	1.40	m
cr1	3.00	m
cr2	3.60	m
cr3	4.10	m
C	5.80	m
e	1.60	m

Fuente: Elaboración propia

### C. Definición del material acero en la estructura

Es necesario determinar el material para poder aplicar las cargas a la estructura en este caso el acero ASTM A572, material que se encuentra en la base de datos del programa SAP 2000 y de se observa el peso específico del material siendo este un valor de 7.849 ton/m<sup>3</sup>, también las propiedades del mismo como son el módulo de elasticidad con 20.89019, el coeficiente de poisson y módulo de cortante G que determina el programa, principalmente se usa el módulo de elasticidad y coeficiente de poisson para calcular la rigidez K de cada elemento. También se aprecia las propiedades de los esfuerzos últimos de fluencia "Fy" y esfuerzo último de rotura "Fu" los cuales son propiedades mecánicas del acero para calcular la deformación del elemento, estos que son asignados por defecto desde la base de datos del programa SAP 2000 ya que cuenta con el elemento estructural ASTM A572 y es el idóneo exigido por el proyecto.

Figura 30: Características del acero para el diseño

General Data	
Material Name and Display Color	ACERO ASTM A572
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	7.849	Tonf, m, C
Mass per Unit Volume	0.8004	

Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	20389019.
Poisson, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	7841930.

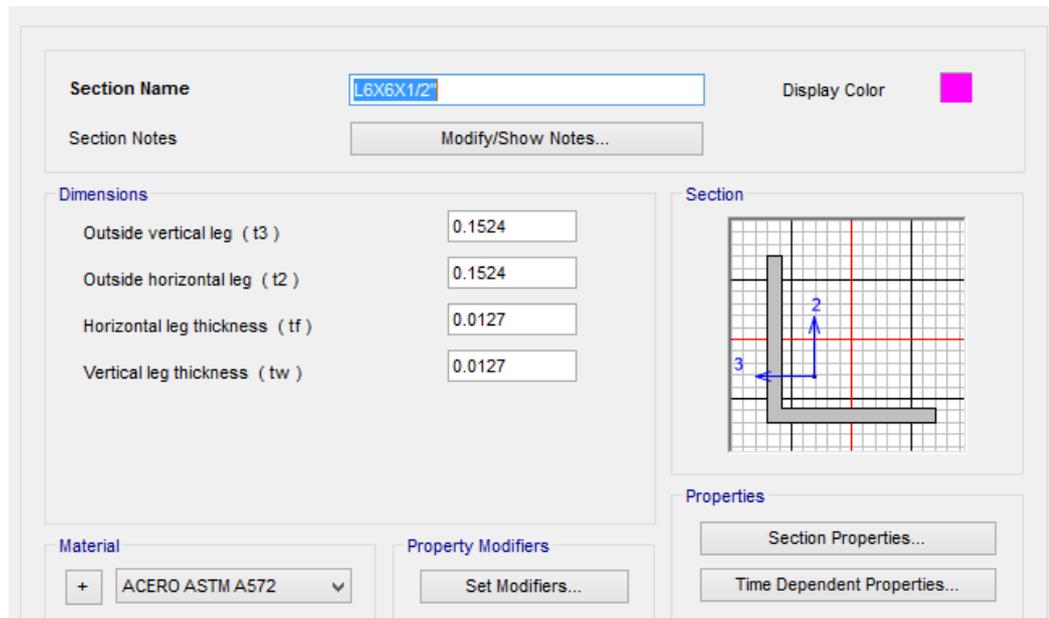
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	35153.48
Minimum Tensile Stress, Fu	45699.53
Expected Yield Stress, Fye	38668.83
Expected Tensile Stress, Fue	50269.48

Fuente: Base de datos del programa SAP 2000

#### D. Secciones de los perfiles de la estructura

Una vez definido el material, se asigna las dimensiones de las secciones que serán utilizadas en el modelamiento para sección = L6x6x1/2" asignado y definido desde los planos de detalle de la parte electro-mecánica del proyecto y estos serán utilizados como elementos estructurales para el estudio como se aprecia en la imagen siguiente.

Figura 31: Definición de sección del elemento estructural con SAP 2000



Fuente: Base de datos del programa SAP 2000

### E. Cargas últimas aplicadas de la estructura.

Para las líneas de transmisión eléctrica, se verifica para las condiciones finales de carga del conductor para el caso de viento, siendo estos valores de cargas últimas de la estructura, datos obtenidos desde el proyecto de ingeniería y esta ubicación de las cargas son en los puntos donde los cables ejercen las tensiones.

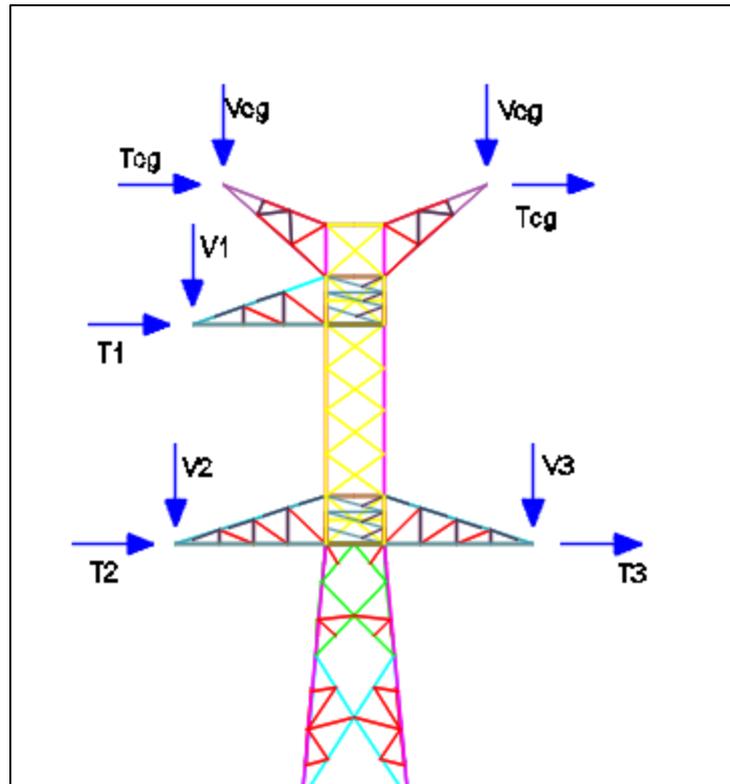
Tabla 12: Cargas puntuales por tensión de cables.

CUADRO DE CARGAS POR TENSION DE CABLES												
	T1	V1	L1	T2	V2	L2	T3	V3	L3	Tcg	Vcg	Lcg
Cargas puntuales	3	823.5	879	3	823.5	879	3	823.5	879	130	648	507
	1.5	411.75	439.5	1.5	411.75	439.5	1.5	411.75	439.5	65	324	253.5

Fuente: Elaboración propia

Nótese la siguiente imagen que las cargas asignadas están a nivel de distribución vertical y transversal en un sentido de la torre.

Figura 32. Fuerzas Transversales y verticales



Fuente: Elaboración propia.

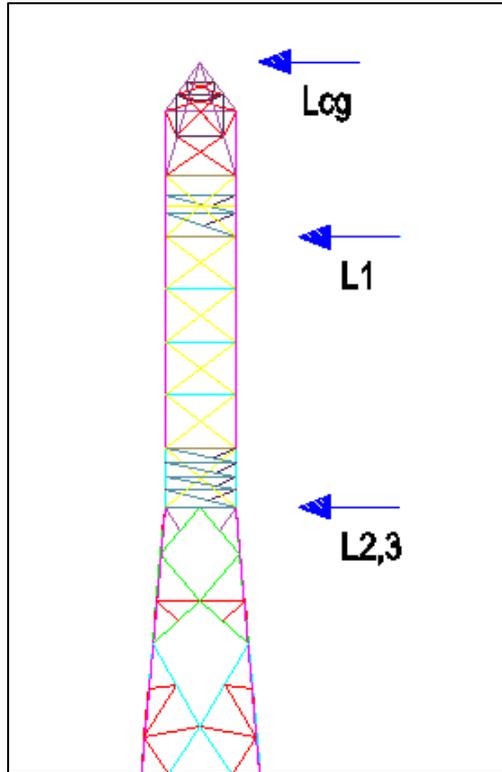
De donde se determina lo siguiente:

$T_1, T_2, T_3, T_{cg}$  = Fuerza Transversal

$V_1, V_2, V_3, V_{cg}$  = Fuerza Vertical

A diferencia de la imagen anterior en esta imagen apreciamos la distribución de la carga longitudinal en el otro sentido de la torre.

Figura 33. Fuerzas longitudinales



Fuente: Elaboración propia.

De donde se determina lo siguiente:

$L1, L2, L3, Lcg = \text{Fuerza Longitudinal}$

## F. Simulación de torre de transmisión eléctrica

La simulación de la torre se analizó con el programa SAP 2000, el programa permite interactuar las diferentes cargas en toda la estructura, así como la asignación de los elementos con sus respectivas secciones. El programa obtiene resultados de desplazamientos, deformaciones y fuerzas actuantes de las estructuras como fuerzas cortantes, fuerzas de compresión, axiales y momentos.

Así como se muestra en la siguiente imagen se aprecia el reglamento que usa el programa como código de diseño AISC 360 -05/IBC2006, nótese que se evalúa para un tipo de elemento línea OMF que significa pórticos ordinarios resistente a momentos por tener la configuración de una torre con elementos estructurales de sección menor.

Figura 34: Características de la norma aplicada por el SAP 2000

Item	Value
1 Design Code	AISC360-05/IBC2006
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	OMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yielding)	0.9
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	0.9
20 Phi(Shear-Short Webbed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No

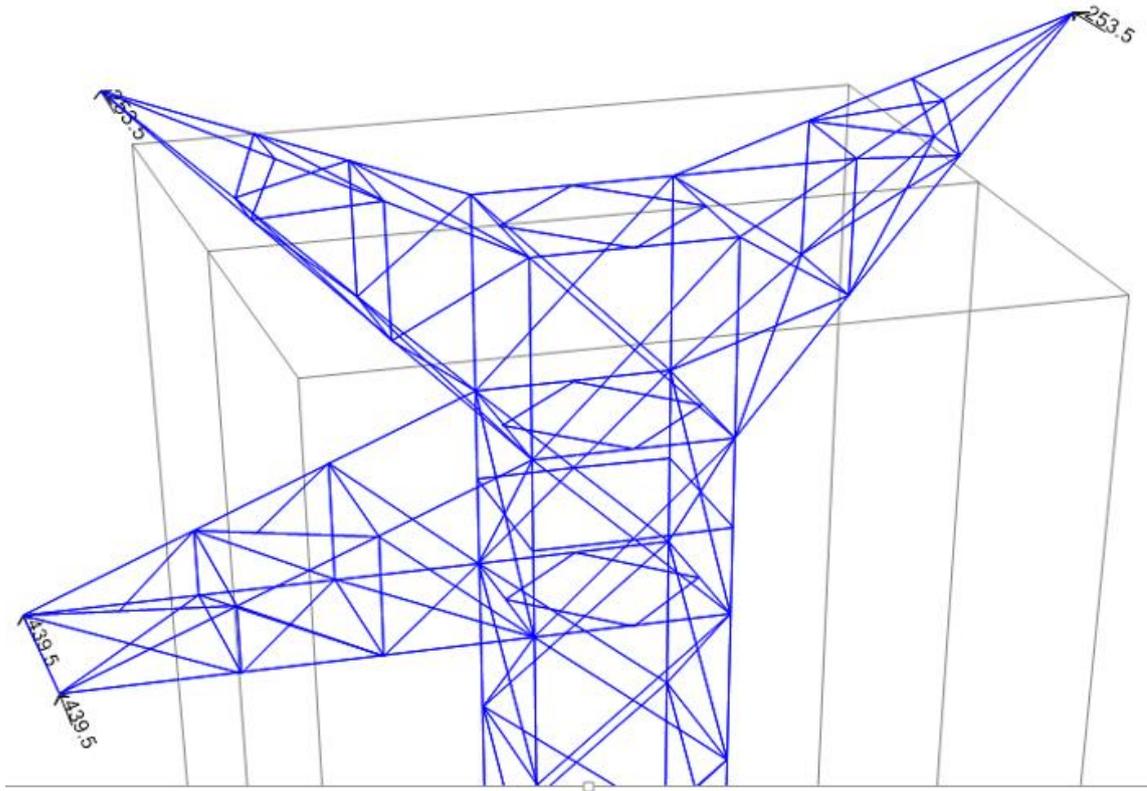
Fuente: Base de datos del programa SAP 2000

### G. Asignación de cargas por tensión de cable conductor:

De acuerdo a los datos proporcionados por el proyecto, según el peso del conductor se tiene las siguientes cargas por tensión en los cables y estos son asignados en el programa SAP 2000 para poder determinar las reacciones en las bases de las torres, estas fuerzas se definen en los tres ejes longitudinales, verticales y transversales.

En la imagen siguiente se muestra el sustento de la ubicación de las cargas longitudinales en la parte superior.

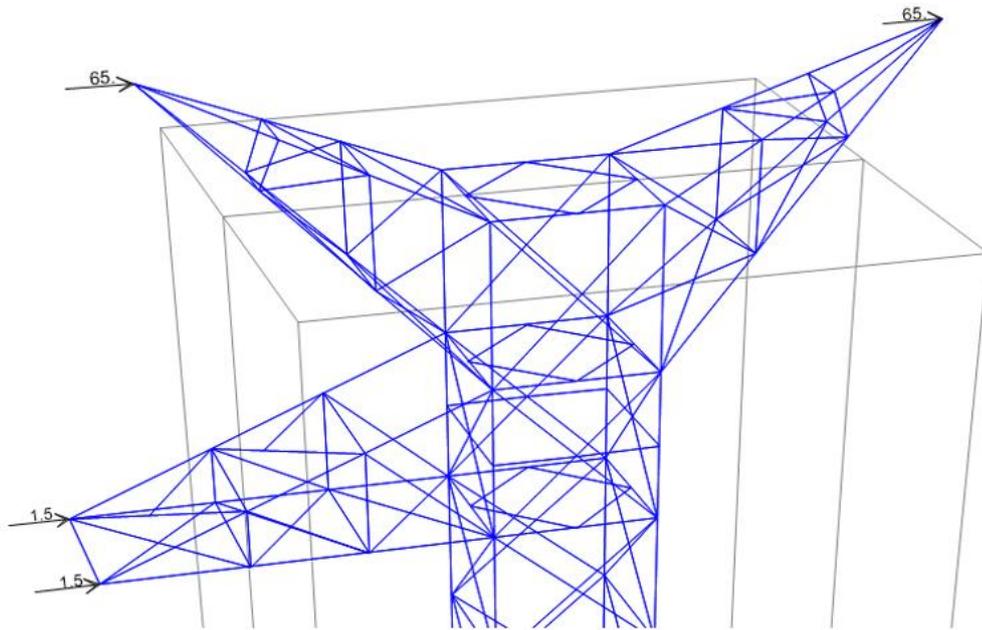
Figura 35. Fuerzas Longitudinales



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

Por otro lado se muestra el sustento de la ubicación de las cargas transversales.

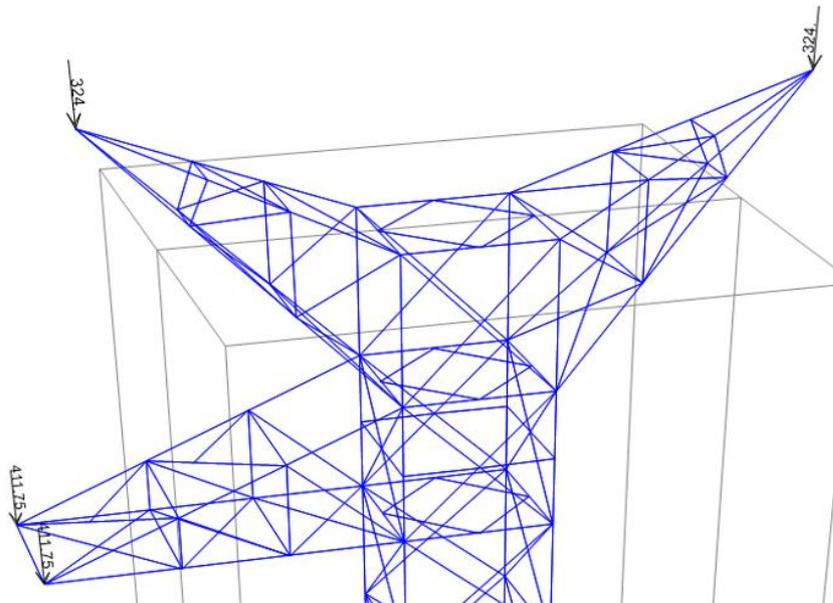
Figura 36. Fuerzas Transversales



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

A continuación se asignará la dirección y ubicación de las cargas verticales en la parte superior para que el programa SAP 2000 pueda procesar los resultados y entregar las reacciones de la estructura en la base a nivel de suelo.

Figura 37. Fuerzas Verticales



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

## H. Asignación de cargas por efecto del viento

La aplicación del viento será en los elementos exteriores y principales de la estructura determinados por la presión que ejerce multiplicado por el ancho de la torre, según el siguiente cuadro de cargas por el viento en la cual se tiene tres lugares de incidencia superior, medio e inferior de toda la torre

Tabla 13: Cargas aplicadas por la presión del viento

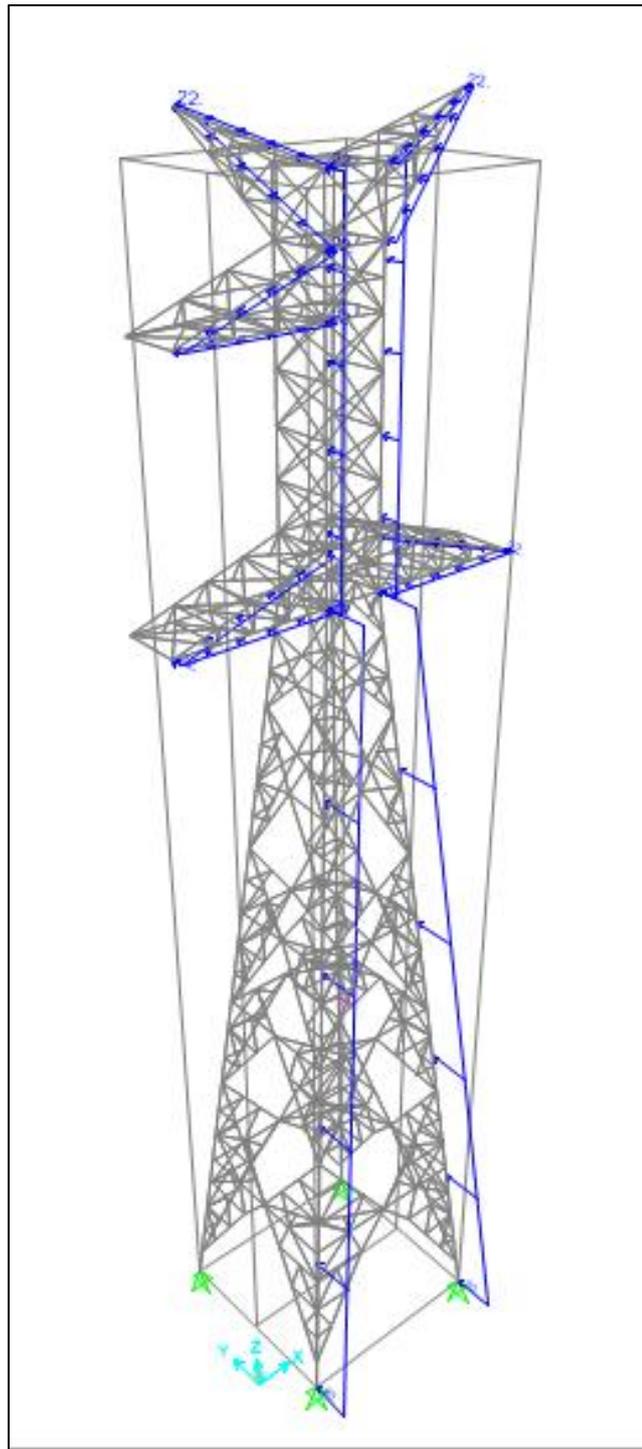
### CUADRO DE CARGAS POR VIENTO

<b>PRESION VIENTO (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ANCHO</b>	<b>CARGA</b>	<b>CARGAS A APLICAS (Kg/m)</b>	<b>LUGAR DE INCIDENCIA</b>
48.42	0.9	43.578	<b>22</b>	<b>Parte superior de la torre</b>
Del proyecto calculado	1.6	77.472	<b>39</b>	<b>En la parte media</b>
	3.7	179.154	<b>90</b>	<b>En la parte inferior</b>

Fuente: Elaboración propia

La aplicación del viento en la estructura está señalada de color azul como muestra la figura siguiente debido a que estos son elementos de tipo línea y se asignaron cargas de fuerza distribuida linealmente a cada elemento de la estructura ya que el espacio vacío entre cada elemento en toda la estructura no correspondería aplicar una carga de presión tipo área.

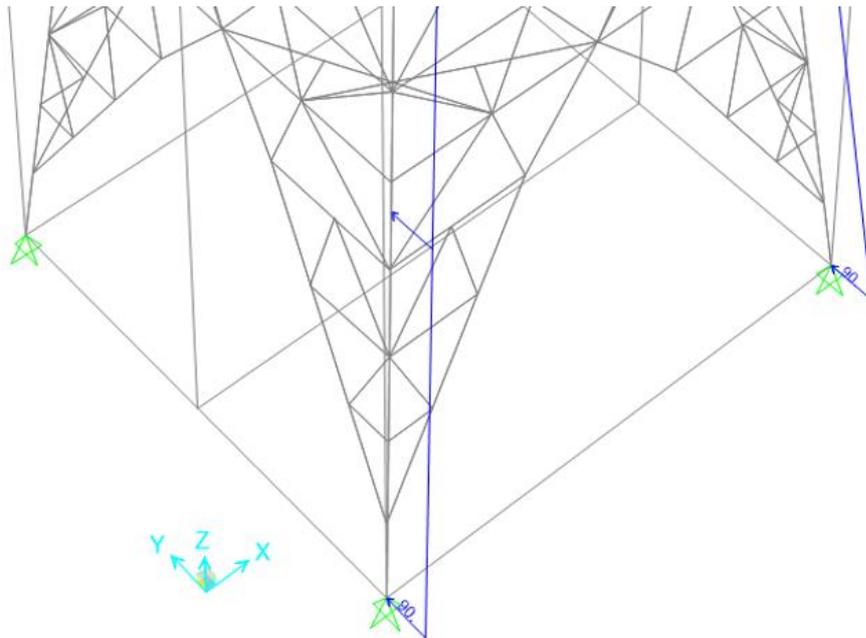
Figura 38. Carga aplicada por el viento



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

La aplicación de la carga según el cuadro de vientos será igual a  $90 \text{ Kg/m}$  en la parte inferior de la estructura tal como se muestra en la figura siguiente:

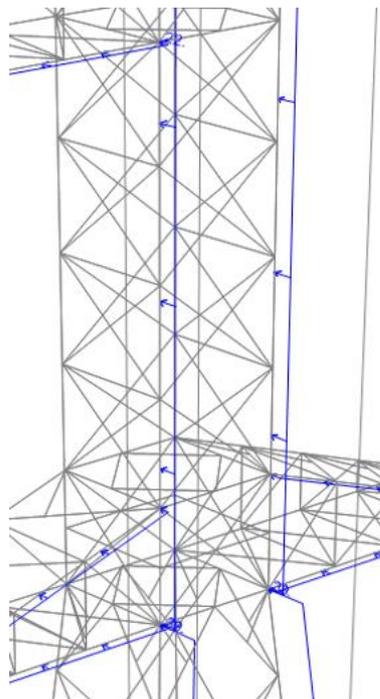
Figura 39. Aplicación del viento en la parte inferior



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

En la parte media de la estructura la aplicación de la carga será igual a 32 Kg/m según el cuadro de cargas, así como se muestra en la figura siguiente:

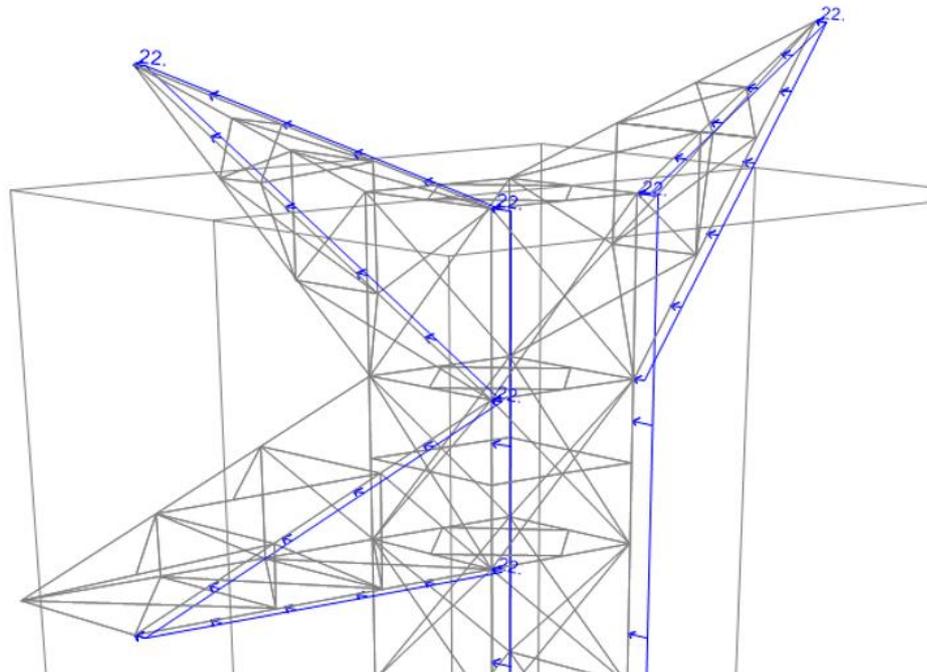
Figura 40. Aplicación de las fuerzas del viento en la parte media



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

Y finalmente la aplicación de la carga según el cuadro de vientos será igual a 22 Kg/m en la parte superior de la estructura que es donde llegan los cables y generan la tensión en la estructura tal como se muestra en la figura siguiente:

Figura 41. Aplicación de la fuerza del viento en la parte superior

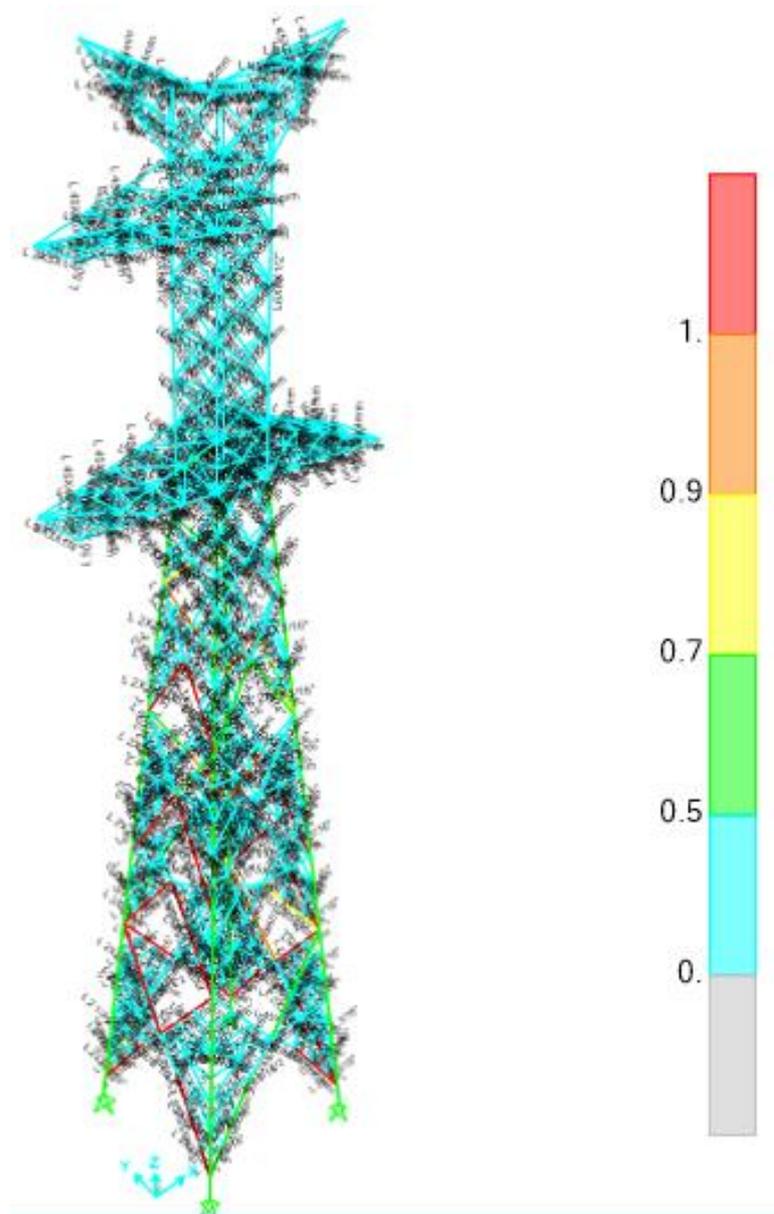


Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

## I. Análisis de la aplicación de las cargas

Una vez definido el tipo de material, sección del elemento estructural y asignado las fuerzas actuante debido a los pesos de los conductores y las fuerzas del viento el programa SAP 2000 evalúa y diseña cada elemento estructural según el código de diseño establecido y nos muestra los ratios de seguridad que tiene que ser menores a 1 resultado de la división de los esfuerzos actuantes entre los esfuerzos resistentes, estos que son mostrados a continuación de color verde y ascendentemente y con progresión al color rojo.

Figura 42. Modelamiento de la estructura



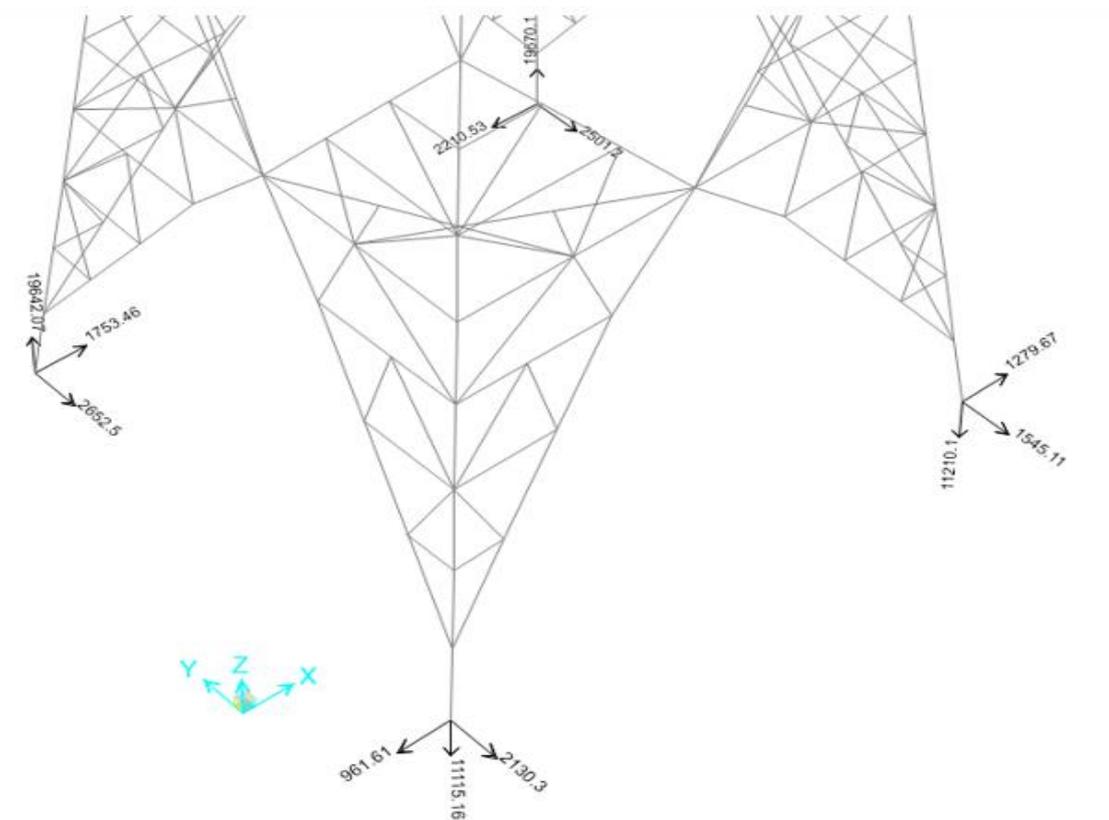
Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

La línea en rojo indica que la sección del elemento estructural requiere verificación de dimensiones, pero para efectos del estudio sólo interesa el valor de las fuerzas que reaccionan en la base de la estructura las y para el análisis estructural de la cimentación no se requiere entrar a evaluar con más detalle los elementos que no cumplen con el ratio puesto que es materia de otro estudio de nivel electro mecánico.

## J. Fuerzas resultantes que actúan en la cimentación:

Después de la verificación con el programa SAP 2000 se obtiene las fuerzas de reacción en la base de la torre las cuales son las fuerzas cortantes en los ejes X, Y. Seguidos de las fuerzas de tensión en los ejes verticales abajo y compresión en los ejes verticales arriba.

Figura 43. Fuerzas resultantes



Fuente: Imagen capturada del programa SAP 2000

Después de esta evaluación se combinaron los efectos de la carga muerta, el peso de los conductores y la fuerza del viento para obtener una única combinación de diseño para obtener el resultado más crítico.

Tabla 14: Reacciones aplicadas en la cimentación.

PUNTOS DE REACCION					
PUNTO	CASO DE CARGA	TIPO DE CASO	FX	FY	FZ
			Kg f	Kg f	Kg f
CIMENTACION 1	CARGA DE DISEÑO	COMBINACION	-2210.53	-2501.2	-19670.1
CIMENTACION 2	CARGA DE DISEÑO	COMBINACION	1753.46	-2652.5	19642.07
CIMENTACION 3	CARGA DE DISEÑO	COMBINACION	1279.67	1545.11	-11210.1
CIMENTACION 4	CARGA DE DISEÑO	COMBINACION	-961.61	-2130.3	-11115.16

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como promedio el valor más crítico el cuadro las en las fuerzas cortantes en los ejes X, Y. Seguidas de las fuerzas de tracción y compresión en el eje Z para un diseño único de zapata se obtiene lo siguiente:

Tabla 15: Reacciones críticas para el diseño

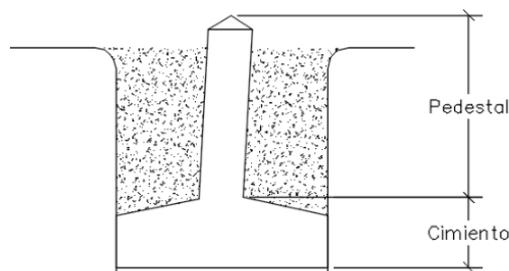
REACCIÓN CRÍTICA DE DISEÑO		
Fx	Fy	Fz
1753.46	-1545.11	19670.1
-2210.53	-2652.5	-11210.1

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3 Diseño de la cimentación con característica ideal

Una vez obtenido las reacciones procederemos a diseñar nuestra base de torre que será materia de estudio para la evaluación del concreto, acero y compactación en el cual se utilizará el método del talud natural.

Figura 44. Base de torre de alta tensión



Fuente: Elaboración Propia

## A. Los materiales

Se inicia la evaluación con el material del concreto en este caso la resistencia, peso específico, esfuerzos de tensión y compresión de donde podemos se obtiene lo siguiente:

Resistencia del concreto ( $F'c$ )	=	210 Kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico del concreto ( $\gamma c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Esfuerzo de tensión del concreto ( $ft$ )	=	9.42 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de compresión del concreto ( $fc$ )	=	94.50 Kg/cm <sup>2</sup>

Para la evaluación del acero se necesita los datos como son el esfuerzo de fluencia máxima y el esfuerzo de fluencia en servicio de los cuales se tiene lo siguiente:

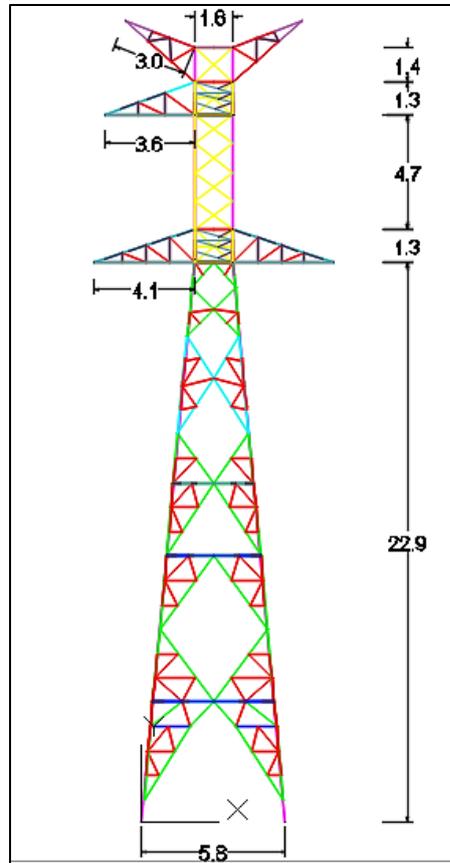
Esf. de fluencia Máximo ( $Fy$ )	=	4200 Kg/cm <sup>2</sup>
Esf. de fluencia de Servicio ( $Fs$ )	=	1680 Kg/cm <sup>2</sup>

Y para la evaluación de la compactación del suelo se utiliza las características productos de ensayo de mecánica de suelos de donde obtuvo lo siguiente:

Capacidad portante ( $\sigma t$ )	=	1.72 kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico saturado ( $\gamma t \text{ sat}$ )	=	0.00 Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico seco ( $\gamma t \text{ seco}$ )	=	1600.00 Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua ( $\gamma a$ )	=	1000.00 Kg/m <sup>3</sup>
Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °
Angulo de fricción interna ( $\emptyset$ )	=	22.30 °

## B. Características de la torre:

Figura 45. Dimensiones de la torre



Fuente: Elaboración propia

De donde se obtiene lo siguiente:

Altura total (Hs) = 31.75 m.

Longitud de la corona (Ap) = 1.57 m.

Longitud de separación de Stub (C) = 5.85 m.

## C. Características de la fundación:

El proyecto plantea las siguientes dimensiones debido a un dimensionamiento previo el cual tenemos que evaluar y diseñar según requiera el dimensionamiento

De este acotamiento tenemos las siguientes características geométricas de la fundación tanto para el pedestal y para la base de donde obtenemos los datos para nuestro estudio.

Para el pedestal se usa las siguientes características:

Lado (Ls)	=	0.4 m.
Prof. En el terreno (hc)	=	1.50 m.
Altura sobre superficie (hcs)	=	0.35 m.
Área transversal del pedestal (Ac)	=	0.16 m <sup>2</sup>
Altura del NF, desde NFC (Hnf)	=	2.00 m.

Par la zapata se tiene lo siguiente:

Altura 1 (hp1)	=	0.30 m.
Altura 2 (hp2)	=	0.20 m.
Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Área de la zapata (Az)	=	5.76 m <sup>2</sup>
Espesor del solado (e)	=	0.075 m.
Recubrimiento en la zapata	=	0.075 m.
Recubrimiento en el pedestal	=	0.05 m.
Finalmente para el prisma de arrancamiento		
Lado de prisma en la superficie (Lsup)	=	3.5 m.
Área en la superficie (Asup)	=	12.27 m <sup>2</sup>

#### **D. Fuerzas mecánicas:**

Las fuerzas mecánicas obtenidas para este estudio son los obtenidos del modelamiento con el programa SAP 2000

Compresión máxima (C)	=	19670.00 Kg.
Tracción máxima (T)	=	11210.10 Kg.
Corte transversal en la base (Hx)	=	2210.53 Kg.
Corte longitudinal en la base (Hy)	=	2652.50 Kg.

### E. Cálculo de la fuerza estabilizante

Para el cálculo de la fuerza estabilizante ( $P_{est.}$ ) se resuelve con la siguiente fórmula del cual se procede a comprobar el principio de estabilidad donde el ratio de diseño debe ser menor a 1:

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

El peso del cimiento está determinada por la siguiente formula:

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

En el cual para el cálculo se efectúa los datos obtenidos de la geometría de la bases de las torres

Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Lado ( $L_s$ )	=	0.4 m.
Prof. En el terreno ( $h_c$ )	=	1.50 m.
Altura sobre superficie ( $h_{cs}$ )	=	0.35 m.
Altura 1 ( $h_{p1}$ )	=	0.30 m.
Altura 2 ( $h_{p2}$ )	=	0.20 m.
Lado de la zapata ( $L_z$ )	=	2.40 m.

Del cual se obtiene el siguiente resultado para el peso del cimiento igual a 5126.40 Kg

Para obtener el peso de la tierra ( $P_{Tierra}$ ) se usa la formula siguiente:

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

Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico seco ( $\gamma_t$ seco)	=	1600.00 Kg/m <sup>3</sup>
Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Peso del Cimiento (P <sub>cimiento</sub> )	=	5126.4 Kg

En esta etapa el Peso de la tierra que se llama relleno tiene un valor igual a 15014.40 Kg.

Para obtener el peso del terreno según el ángulo de arrancamiento  $P_\beta$  se usa la siguiente formula:

$$P_\beta = \delta_{terr} \left[ \frac{H}{3} [(Lz + 2.H.Tan\beta)^2 + Lz.(Lz + 2.H.Tan\beta) + Lz^2] - H.Lz^2 \right]$$

Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Peso específico saturado ( $\gamma_T$ sat)	=	0.00 Kg/m <sup>3</sup>
Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °

Del cual obtiene que el peso según el ángulo de arrancamiento del terreno es igual al 10212.09 Kg

Luego se tiene que calcular la existencia del volumen de interferencia para este efecto tenemos la siguiente formula.

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

Existe interferencia si  $B > C/2$

Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °
Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Longitud de separación de Stub (C)	=	5.85 m.

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

De acuerdo a esta relación se verifica que la relación 1.77 es mayor que la mitad de la separación de los Stubs igual a 2.9 por tanto no existe interferencia y al comprobar esta relación se calcula el volúmen de interferencia que será igual a 8.20 m<sup>3</sup>

Por lo tanto, de la fuerza estabilizadora será:

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

Pcimiento	=	5126.40 Kg
Ptierra	=	15014.40 Kg.
P $\beta$	=	10212.09 Kg
$\delta$ terreno	=	1600 Kg/m <sup>3</sup>
Vinter	=	8.20 m <sup>3</sup>

$$P_{est.} = 30352.89$$

Una vez obtenida la fuerza estabilizadora se tiene que comprobar el arrancamiento para este efecto el cociente de la fuerza estabilizadora con la fuerza de tracción deberá ser mayor a 1.5 según esta relación.

$\frac{P_{est.}}{F_{tracción}} > k$	K = 1.5 hipótesis normales
	K = 1.2 hipótesis anormales

Efectuando la operación se obtiene 2.71 que es mayor a 1.5 y se da por cumplido y verificado la relación.

## F. Compresión

Se comprueba 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.

### G. Capacidad admisible del Suelo

La capacidad admisible será de acuerdo al estudio de suelos en este caso se tiene lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = 17.2 \text{ Ton/m}^2$$

### H. Presión sobre el suelo

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

Fcompresión	=	15451.21 Kg.
Pcimiento	=	5126.40 Kg.
Ptierra	=	15014.40 Kg.
Área de Zapata (Az)	=	5.76 m <sup>2</sup>

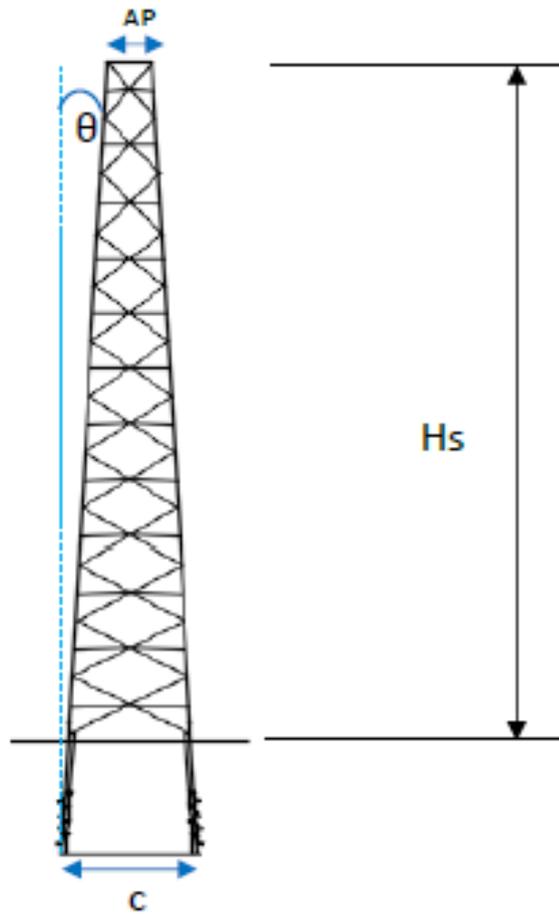
Al efectuar este cálculo se determina que la presión sobre el suelo es de 6.18 Ton/m<sup>2</sup>

### I. Verificación de presión sobre el suelo

Las presiones transmitidas al terreno se calculan 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.

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

Figura 46. Ángulo de Inclinación



Fuente: Gráfico propio

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

Donde:

Altura total (Hs)	=	31.75 m.
Longitud de la corona (Ap)	=	1.57 m.
Longitud de separación de Stub (C)	=	5.85 m.

Finalmente el ángulo de inclinación del para la excentricidad de la zapata es igual a 3.86°

## J. Cálculo de momentos actuantes en la cimentación

Momento en dirección X ( $M_x$ )

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

Compresión máxima (C)	=	15451.21 Kg
Corte transversal en la base ( $H_x$ )	=	1696.49 Kg
Profundidad en el terreno ( $h_c$ )	=	1.50 m.
Altura sobre la superficie ( $h_{cs}$ )	=	0.35 m.
Altura $H_p$ $H_{p1} + h_{p2}$	=	0.50 m.
Angulo de inclinacion	=	3.86°

De donde se concluye que el momento en la direccion X es igual a  
 $M_x = 2742.04 \text{ Kg-m}$

Momento en dirección Y ( $M_y$ )

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

Compresión máxima (C)	=	15451.21 Kg
Corte longitudinal en la base ( $H_y$ )	=	1768.52 Kg
Profundidad en el terreno ( $h_c$ )	=	1.50 m.
Altura sobre la superficie ( $h_{cs}$ )	=	0.35 m.
Altura $H_p$ $H_{p1} + h_{p2}$	=	0.50 m.
Angulo de inclinacion	=	3.86 °

De donde se concluye que el momento en la direccion Y es igual a  $M_y = 1768.52 \text{ Kg-m}$

Luego se efectua el cálculo de presiones, que no es más que el cálculo de las presiones en los extremos y el promedio de a base de la torre de alta tensión sobre el terreno de fundación y para este efecto se debe considerar el Peso estabilizante para el volteo que se obtiene de la sumatoria del peso del cimientto más el peso del relleno y la fuerza de compresión.

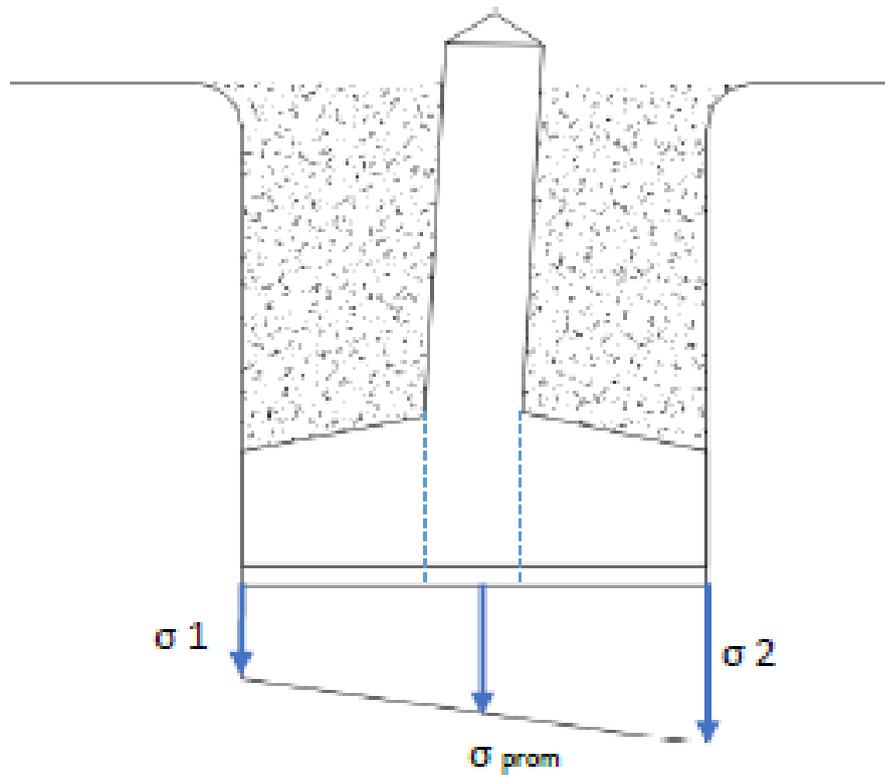
$$W_{ev} = P_{cim} + P_{tierra} + C$$

Donde:

Peso del cemento ( $P_{cim}$ )	=	5126.40 Kg.
Peso del terreno ( $P_{tierra}$ )	=	15014.40 Kg.
Compresión máxima (C)	=	15451.21 Kg.

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente el valor del peso estabilizante es 39810.80 Kg.

*Figura 47. Transmisión de presiones en el terreno*



Fuente: Jon G. (2015) Diseño y cálculo de estructuras de cimentación y contención Módulo 4  
(Pag. 04)

Obtenido el valor del Peso estabilizante usaremos la expresión del cálculo de presión determinado como:

$$\sigma = \left( \frac{W_{ev}}{Lz^2} + /- \frac{6(Mx + My)}{Lz^3} \right) / 10^4$$

Donde:

Peso estabilizante ( $W_{ev}$ )	=	39810.80 Kg
Momento en la dirección X ( $M_x$ )	=	2742.04 Kg-m
Momento en la dirección Y ( $M_y$ )	=	1768.52 Kg-m
Lado de la zapata ( $Lz$ )	=	2.40 m.

De donde analizando y reemplazando se tiene el valor de las presiones  $\sigma_1 = 9.74 \text{ Ton/m}^2$ , para  $\sigma_2 = 4.08 \text{ Ton/m}^2$  y por lo tanto la presión promedio es:  $\sigma_{prom} = 6.91 \text{ Ton/m}^2$ .

Cada uno de estos valores obtenidos tiene que ser menor al valor de la capacidad admisible ( $\sigma_{adm}$ ) que es igual a  $17.2 \text{ Ton/m}^2$ . Y como se aprecia si cumple ya que ninguno sobrepasa el valor establecido, por lo tanto se asume que para cada punto del análisis la presión es resistente respecto a las reacciones en las zapatas asignadas por el Programa SAP 2000.

### **K. Verificación a compresión**

$$\sigma_{adm} > \sigma_{adm}$$

Cada uno de estos valores obtenidos tiene que ser menor al valor de la capacidad admisible ( $\sigma_{adm}$ ) que es igual a  $17.2 \text{ Ton/m}^2$ . Y como se aprecia en el cálculo anterior los valores cumplen con lo requerido ya que ninguno sobrepasa el valor establecido, por lo tanto se asume que para cada punto del análisis la presión es resistente respecto a las reacciones en las zapatas

asignadas por el Programa SAP 2000.

Una vez comprobado que el suelo es suficientemente resistente a las fuerzas actuantes, estas mismas que fueron asignadas y analizadas en la cimentación, se procede hacer el diseño por cortante en los tornillos que sujetan los STUBS con el pedestal de la base de las torres materia de nuestro estudio.

### **L. Cortante en tornillos**

Es necesario este diseño ya que los tornillos que sujetan los STUBS con el pedestal de la base de las torres absorberán la fuerza cortante en los STUB para ello la formula requiere lo siguiente:

$$Ct = \frac{(n)(0.5)(Fub)A_{torn}}{\gamma_{m2}}$$

Numero de tornillos (n)	=	4
Resistencia última del acero del tornillo (F ub)	=	500 N/mm <sup>2</sup>
Sección transversal del tornillo (A torn)	=	0.2 m <sup>2</sup>
Coeficiente de seguridad del tornillo (γ <sub>m2</sub> )	=	1.25

De lo establecido se obtiene el valor de la cortante en tornillos (Ct) igual a 16000 Kg. y comparando con la compresión máxima (C) igual a 14752.50 Kg. Verificamos que es mayor ya que si fuese menor soportaría la compresión a la que es sometida la torre, por tanto se asume que el valor de la fuerza cortante en tornillos (Ct) es igual a 16000 Kg.

### **M. Punzonamiento**

En el grafico siguiente se muestra el diseño por punzonamiento es el cual analiza las fuerzas cortantes en la zapata a una distancia crítica del peralte efectivo.

Cortante actuante estará determinado por la siguiente expresión

$$V_u = Hx$$

Por lo tanto el  $V_u$  es igual a 2.65 Ton

Mientras que el Cortante resistente estar dado por la expresión siguiente

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

De donde obtenemos que El  $V_c$  es igual a 60 Ton

Asumiendo la siguiente expresión de que:

$$V_u \leq V_c$$

Se considera como conforme respecto al punzonamiento.

## **N. Cortante**

Mediante este diseño se evalúa el principio de la fuerza actuante entre la fuerza resistente que debe ser menos a la resistente pero evaluado a una distancia en este caso "d" que es el peralte efectivo

El cortante actuante estará determinado por la siguiente expresión

$$V_u = Hx$$

Por lo tanto el  $V_u$  es igual a 2.65 Ton

Mientras que el Cortante resistente estar dado por la expresión siguiente

$$V_c = \left(0.53 + \frac{1.1}{\beta_c}\right) (\sqrt{F_c})(B)(d)$$

De donde obtenemos que El  $V_c$  es igual a 24.77 Ton

Asumiendo la siguiente expresión de que:

$$V_u \leq V_c$$

Se considera como conforme respecto a la cortante.

## O. Flexión

Seguido al diseño se tiene que evaluar el acero en las zapatas que determina la flexión de la base de la torre de alta tensión para este efecto se inicia con el momento positivo.

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

Reemplazando los valores

Mu (+) es igual a 6.37 Ton-m

La presión del suelo en la cara superior de la zapata está dado por  $\sigma_{\text{cara}} = 0.20$  Kg/m<sup>2</sup> y es Mu (-) Es igual a 3.12 Ton-m.

El cálculo del área del acero se calcula con la siguiente expresión.

$$As = p.b.d$$

La cuantía mínima del acero se recomienda 0.0018

De donde el área del acero es cuantía es 4 cm<sup>2</sup> como mínimo.

Para poder calcular el acero en las zapatas se necesita el momento positivo que se encuentra en la parte inferior de la zapata ya calculado anteriormente para compararlo con la cuantía mínima del acero y el área mínima recomendado de donde obtenemos:

En la parrilla superior 14 varillas de acero de 5/8" a una separación del 0.25 m.

En la parrilla inferior 14 varillas de acero de 5/8" a una separación del 0.25 m.

En el pedestal se diseña por cuantía mínima y obtenemos que el cortante actuante es igual al 2.65 Ton y el cortante resistente es igual a 20.64 Ton. De donde el cortante que toma el pedestal es igual a 33.03 Ton por lo cual

teóricamente no requiere esfuerzo de acero pero se recomienda usar el mínimo confinamiento por efecto del sismo, por tal el refuerzo en el pedestal se da por lo siguiente:

Varillas de 3/8" a una separación de 0.10 m.

### 3.7.4 Modelamiento con calidad ideal

#### A. Respecto al concreto

La fuerza cortante máxima aplicada es verificada por punzonamiento y cortante respecto a la resistencia del concreto y esta fuerza es absorbida satisfactoriamente ya que comparadas con la fuerza resistente del concreto son menores y esto hace que la estructura tenga un comportamiento estable.

Para para la verificación del punzonamiento se verificó con la fórmula de

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

Obteniendo el valor de  $V_c = 60.09$  Ton que comparado al  $V_u = 2.65$  y obedeciendo a la relación establecida por el punzonamiento.

$$V_u \leq V_c$$

$$2.65 \text{ Tn.} \leq 60.09 \text{ Tn.}$$

Se establece que cumple con lo requerido en una situación real respecto al punzonamiento.

Del mismo modo y para una situación real de diseño para la verificación por cortante se verificó con la fórmula de:

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

Obteniendo el valor de  $V_c = 21.06$  Ton que comparado al  $V_u = 2.65$  y obedeciendo a la relación establecida por el cortante.

$$V_u \leq V_c$$

$$2.65 \text{ Tn.} \leq 21.06 \text{ Tn.}$$

Se establece que cumple con lo requerido en una situación real respecto a la cortante.

Se aprecia que las fuerzas cortantes actuantes son muy pequeñas respecto a las fuerzas cortantes resistentes del concreto debido a que la torre al tiene elementos ligeros como ángulos y esto genera fuerzas cortantes muy pequeñas.

### **B. Respecto al acero**

El acero que el material que se diseña por flexión en la base de la torre se verifica con los momentos últimos y la cuantía mínima para la zapata de la base de la torre obtenida por la siguiente expresión

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

De donde se obtiene un valor para la cuantía mínima de 18.4 cm<sup>2</sup> distribuidas en dos parrillas inferior y superior de la base:

Utilizando 9 varillas de acero corrugado de 5/8" a una separación de 0.25 m.

En el pedestal se diseña por cortante y se establece que el cortante actuante debe ser menor que el cortante resistente de los valores, obteniendo el valor de  $V_c = 33.03 \text{ Ton}$  que comparado al  $V_u = 2.65$  y obedeciendo a la relación establecida por el cortante.

$$V_u \leq V_c$$

$$2.65 \text{ Tn.} \leq 33.03 \text{ Tn.}$$

Según esta expresión el pedestal no requeriría acero de refuerzo puesto que es suficiente con la resistencia de concreto y el refuerzo en la zapata de la base de la torre y cumple con lo requerido por el principio de cortante pero es recomendable usar un mínimo confinamiento por sismo. Que es acero de 3/8" 1@0.05 4@0.10 con recubrimiento de 0.15 m.

### C. Respecto a la compactación

Considerando la capacidad portante del suelo que es de 1.72 Kg/cm<sup>2</sup> y el peso 1600 Kg/cm<sup>3</sup> se asume un grado de compactación de 100%, datos que son obtenidos de los ensayos de mecánica de suelos, datos que son obtenidos en un estado natural del terreno que tiene su propia estabilidad y sus propiedades mecánicas no son alteradas.

Para el cálculo de la fuerza estabilizante ( $P_{est.}$ ) se resolverá con la siguiente formula del cual procederemos a comprobar el principio de estabilidad donde la ratio de diseño debe ser menor a 1:

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

El peso del cimiento está determinada por la siguiente formula:

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

En el cual para el cálculo se efectúa los datos obtenidos de la geometría de la bases de las torres:

Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Lado ( $L_s$ )	=	0.4 m.
Prof. En el terreno ( $h_c$ )	=	1.50 m.
Altura sobre superficie ( $h_{cs}$ )	=	0.35 m.
Altura 1 ( $h_{p1}$ )	=	0.30 m.
Altura 2 ( $h_{p2}$ )	=	0.20 m.
Lado de la zapata ( $L_z$ )	=	2.40 m.

Del cual obtenemos el siguiente resultado para el peso del cimiento igual a 5126.40 Kg

Para obtener el peso de la tierra (P Tierra) usaremos la formula siguiente:

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

Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico seco ( $\gamma_t$ seco)	=	1600.00 Kg/m
Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Peso del Cimiento (Pcimiento)	=	5126.4 Kg

En esta etapa el Peso de la tierra que es el relleno tiene un valor igual a 15014.40 Kg.

Para obtener el peso del terreno según el ángulo de arrancamiento  $P_\beta$  se utiliza la siguiente formula:

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

Donde:

Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °

Del cual se obtiene que el peso según el ángulo de arrancamiento del terreno es igual al 10212.09 Kg

Luego se tiene que calcular la existencia del volumen de interferencia para este efecto tenemos la siguiente formula.

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

**Existe interferencia si  $B > C/2$**

Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °
Lado de la zapata ( $Lz$ )	=	2.40 m.
Altura total ( $H$ )	=	2.00 m.
Longitud de separación de Stub ( $C$ )	=	5.85 m.

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

De acuerdo a esta relación se verifica que la relación 1.77 es mayor que la mitad de la separación de los Stubs igual a 2.9 por tanto no existe interferencia y al comprobar esta relación calculamos el Volumen de interferencia que será igual a 8.20 m<sup>3</sup>

Por lo tanto de la fuerza estabilizadora será:

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

$P_{cimiento}$	=	5126.40 Kg
$P_{tierra}$	=	15014.40 Kg.
$P_{\beta}$	=	10212.09 Kg
$\delta_{terreno}$	=	1600 Kg/m <sup>3</sup>
$V_{inter}$	=	8.20 m <sup>3</sup>

Del cual se obtiene que el peso de estabilidad ( $P_{est.}$ )= 30352.89

Una vez obtenida la fuerza estabilizadora se tiene que comprobar el arrancamiento para este efecto el cociente de la fuerza estabilizadora con la fuerza de tracción deberá ser mayor a 1.5 según esta relación.

$\frac{P_{est.}}{F_{tracción}} > k$	$K = 1.5$ hipótesis normales
	$K = 1.2$ hipótesis anormales

Efectuando la operación se obtiene 2.71 que es mayor a 1.5 y se da por cumplido y verificado la relación.

### 3.7.5 Modelamiento con calidad no adecuada

Para realizar esta fase, se consideró los valores encontrados en las hojas de control de calidad, que se pueden apreciar en los anexos.

#### A. Respecto al concreto

Cuando la calidad del concreto no es la adecuada como en este caso el  $F_c'$  no alcanzo la resistencia establecida en el diseño ideal que es de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, se debe considerar la influencia que tiene sobre lo ideal. En el proceso constructivo se verifico que la resistencia es igual a 175 kg/cm<sup>2</sup>. (Anexo: Ensayo de resistencia a la compresión simple) para este efecto se evaluó la fuerza cortante máxima aplicada que se verificó por punzonamiento y cortante debido a que estos parámetros están en función a la resistencia del concreto.

Para para la verificación del punzonamiento se utilizó la fórmula de:

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

Obteniendo el valor de  $V_c = 54.86$  Ton que comparado al  $V_u = 2.65$  y obedeciendo a la relación establecida por el punzonamiento.

$$V_u \leq V_c$$

$$2.65 \text{ Tn.} \leq 54.86 \text{ Tn.}$$

Se estableció que cumple con lo requerido en una situación real respecto al punzonamiento.

Del mismo modo y para una situación con  $F_c'$  igual a 175 Kg/cm<sup>2</sup> de diseño para la verificación por cortante se verificó con la fórmula de:

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

Obteniendo el valor de  $V_c = 19.22 \text{ Ton}$  que comparado al  $V_u = 2.65$  y obedeciendo a la relación establecida por el cortante se concluyó lo siguiente:

$$V_u \leq V_c$$

$$2.65 \text{ Tn.} \leq 19.22 \text{ Tn.}$$

Se estableció que cumple con lo requerido en una situación real respecto a la cortante con un  $F_c'$  igual a 175 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **B. Respecto al acero**

En este caso el acero no correspondía a 5/8" como el cálculo ideal indica, pues la calidad del acero está determinada por la colocación del acero de refuerzo de diseño y no permite cambio alguno sin previo cálculo y redistribución del mismo refuerzo, para esta evaluación se evidenció la instalación con acero de 1/2", (Anexo: Inspección de acero de refuerzo), la evaluación con este acero de 1/2" se calculó con los momentos últimos y la cuantía mínima calculada para la zapata de la base de la torre obtenida por la siguiente expresión

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

De donde se obtiene un valor para la cuantía para el acero de 1/2" de 11.61 cm<sup>2</sup> distribuidas en dos parrillas inferior y superior

En el pedestal fue evaluado por cortante y se obedecio el principio de que el esfuerzo cortante actuante debe ser menor que el esfuerzo cortante resistente del cual el valor obtenido resultó  $V_c = 33.03$  Ton que comparado al  $V_u = 2.65$

$$V_u \leq V_c$$
$$2.65 \text{ Tn.} \leq 33.03 \text{ Tn.}$$

Según esta expresión el pedestal no requeriría acero de refuerzo puesto que es suficiente con la resistencia de concreto y el refuerzo en la zapata de la base de la torre y cumple con lo requerido por el principio de cortante pero es recomendable usar un mínimo confinamiento por sismo. Que es acero de 3/8" 1@0.05 4@0.10 con recubrimiento de 0.15 m.

### **C. Respecto a la compactación**

Cuando la calidad de la compactación no es la adecuada como en este caso y no se alcanza la compactación ideal se consideró la influencia que tiene sobre la estructura. En el proceso constructivo se verifico que el grado de compactación fue del 43% respecto a lo ideal que es el 100% (Anexo: Ensayo de densidad en campo) para este efecto se verificó la estabilidad de la estructura en el cimiento.

Para el cálculo de la fuerza estabilizante ( $P_{est.}$ ) se resolvió con la siguiente formula del cual se comprobó por el principio de estabilidad donde el ratio de diseño debe ser menor a 1:

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

Para lo cual se utilizó la fórmula del peso del cimiento que está determinada por lo siguiente:

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

En el cual se utilizó los datos obtenidos de la geometría de la bases de las torres

Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Lado (Ls)	=	0.4 m.
Prof. En el terreno (hc)	=	1.50 m.
Altura sobre superficie (hcs)	=	0.35 m.
Altura 1 (hp1)	=	0.30 m.
Altura 2 (hp2)	=	0.20 m.
Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.

Del cual se obtuvo el siguiente resultado para el peso del cimiento igual a 5126.40 Kg

Luego para obtener el peso de la tierra (P Tierra) se verifico con la formula siguiente:

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

Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	=	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico seco ( $\gamma_t$ seco)	=	688.00 Kg/m
Lado de la zapata (Lz)	=	2.40 m.
Altura total (H)	=	2.00 m.
Peso del Cimiento (Pcimiento)	=	5126.4 Kg

En esta etapa el Peso de la tierra tuvo un valor igual a 15014.40 Kg.

Seguidamente para obtener el peso del terreno según el ángulo de arrancamiento  $P_\beta$  se utilizó la siguiente formula:

$$P_\beta = \delta_{terr} \left[ \frac{H}{3} [(Lz + 2.H.Tan\beta)^2 + Lz.(Lz + 2.H.Tan\beta) + Lz^2] - H.Lz^2 \right]$$

Lado de la zapata ( $Lz$ )	=	2.40 m.
Altura total ( $H$ )	=	2.00 m.
Peso específico saturado ( $\gamma T sat$ )	=	0.00 Kg/m <sup>3</sup>
Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °

Del cual se obtuvo que el peso según el ángulo de arrancamiento del terreno es igual al 10212.09 Kg

Luego para calcular la existencia del volumen de interferencia uso la siguiente formula.

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

Existe interferencia si  $B > C/2$

Angulo de arrancamiento ( $\beta$ )	=	16.00 °
Lado de la zapata ( $Lz$ )	=	2.40 m.
Altura total ( $H$ )	=	2.00 m.
Longitud de separación de Stub ( $C$ )	=	5.85 m.

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

De acuerdo a esta relación verificó que 1.77 es mayor que la mitad de la separación de los Stubs igual a 2.9 por tanto no existe interferencia y al

comprobar esta relación se procedió a calcular el Volumen de interferencia que fué igual a 8.20 m<sup>3</sup>

Por lo tanto de la fuerza estabilizadora tuvo un valor de:

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

$P_{cimiento}$	=	5126.40 Kg
$P_{tierra}$	=	6456.19 Kg.
$P_{\beta}$	=	4391.20 Kg
$\delta_{terreno}$	=	1600 Kg/m <sup>3</sup>
$V_{inter}$	=	8.20 m <sup>3</sup>

$$P_{est.} = 15973.79$$

Una vez obtenida la fuerza estabilizadora se comprobó el arrancamiento para este efecto el cociente de la fuerza estabilizadora con la fuerza de tracción deberá ser mayor a 1.5 según esta relación.

$\frac{P_{est.}}{F_{tracción}} > k$	K = 1.5 hipótesis normales
	K = 1.2 hipótesis anormales

Efectuando la operación resulto 1.42 que es menor a 1.5 y existe posibilidad de volteo puesto que no cumple la comprobación del arrancamiento.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

#### 4.1 Resultados analizando el concreto de 175 Kg/cm<sup>2</sup>

Al verificar por punzonamiento y cortante utilizando una resistencia del concreto de 175 Kg/cm<sup>2</sup> con una misma capacidad portante de 17.2 Ton/m<sup>2</sup> se obtuvo que:

*Tabla 16:*

*Comparación de la verificación por punzonamiento.*

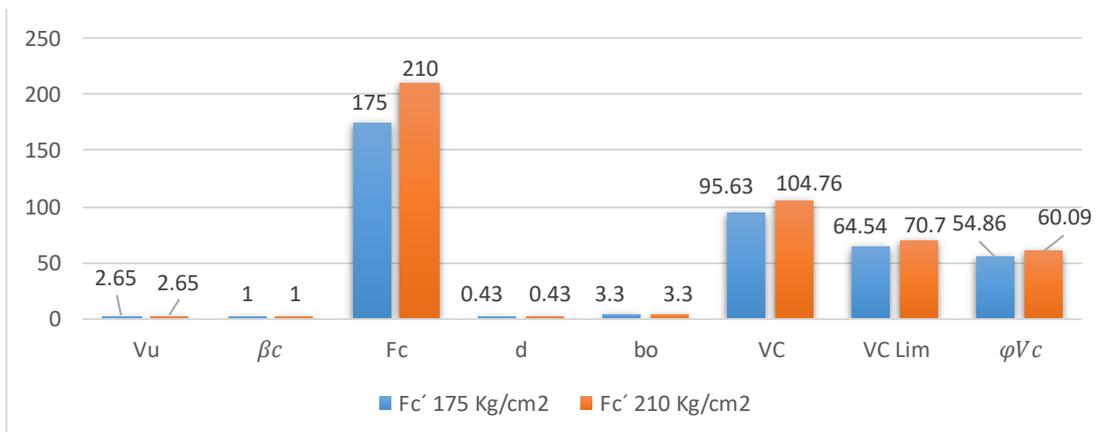
<b>VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO</b>	
<b>Vc</b>	Disminuye 9.31%
<b>Vc Lim</b>	Disminuye 8.71%
<b>φVc</b>	Disminuye 8.70 %

*Fuente: Elaboración Propia.*

En el siguiente grafico se aprecia las diferencias entre el concreto requerido y el concreto utilizado en el proceso constructivo donde el valor del Vc sigue siendo superior al valor del Vc aunque el Fc del concreto baje a 175 Kg/cm.

*Figura 48*

*Comparación de valores obtenidos por punzonamiento.*



*Fuente: Elaboración propia*

Del mismo modo y para una situación con  $F_c'$  igual a 175 Kg/cm<sup>2</sup> en la verificación por cortante se obtuvo que el  $V_c$  se reduce en un 8.73% y el  $\phi V_c$  Disminuye 8.70 %.

Tabla 17:

Comparación de la verificación por punzonamiento

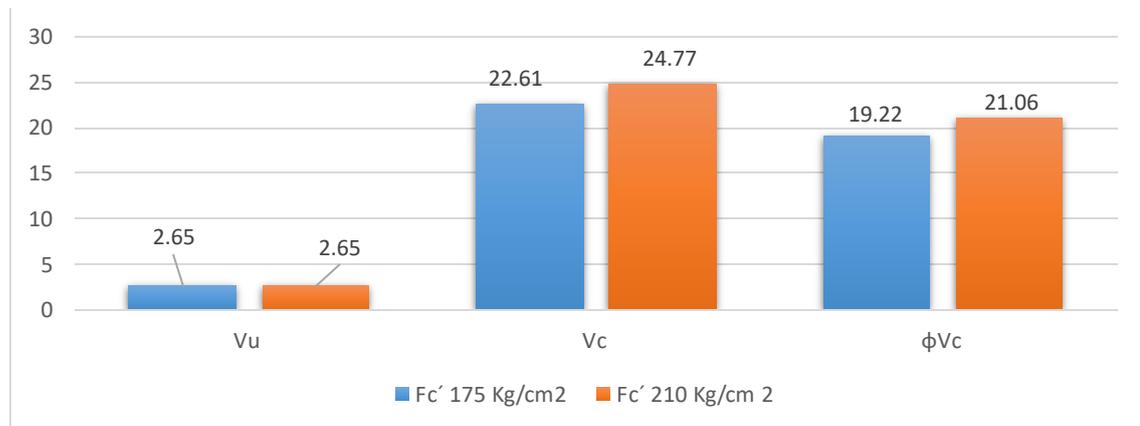
VERIFICACIÓN POR CORTANTE	
$V_c$	Disminuye 8.73%
$\phi V_c$	Disminuye 8.70 %

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente grafico se aprecia las diferencias entre el concreto requerido y el concreto utilizado en el proceso constructivo donde el valor del  $V_c$  también sigue siendo superior al valor del  $V_c$  aunque el  $F_c$  del concreto baje a 175 Kg/cm<sup>2</sup>.

Figura 49

Comparación de valores obtenidos por cortante



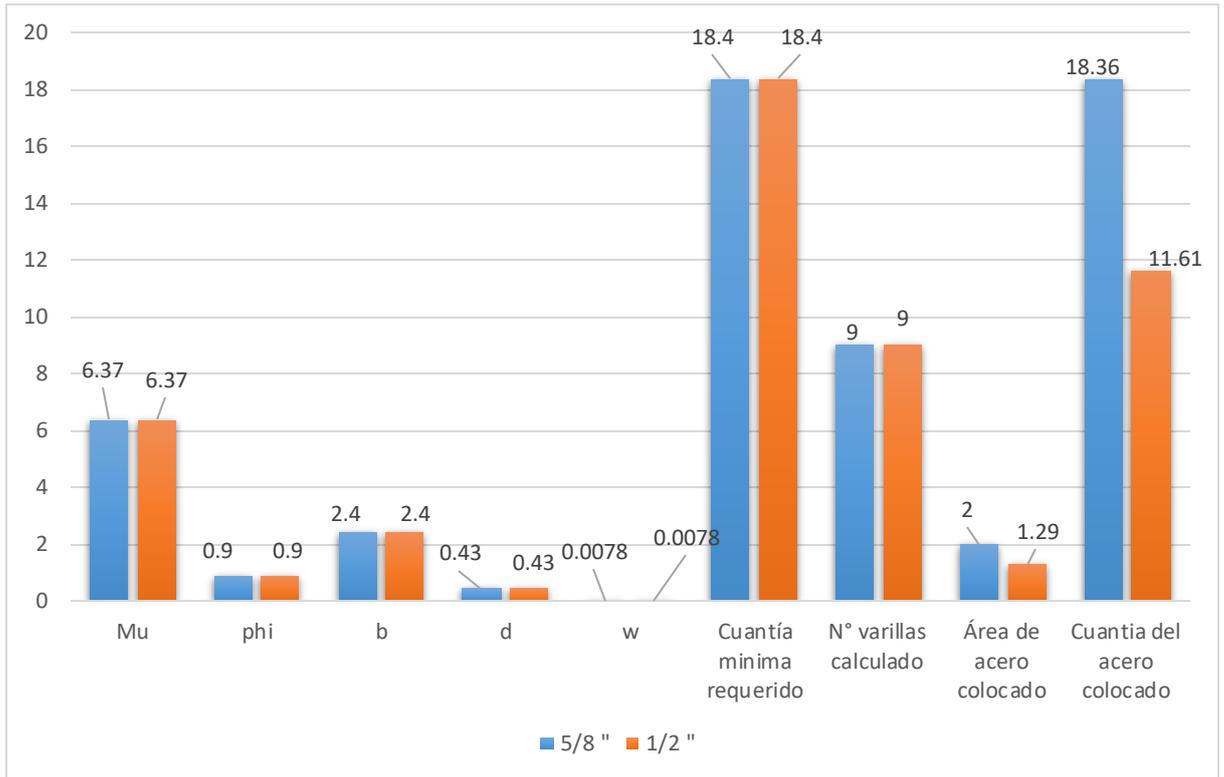
Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Resultados analizando el acero

Respecto a la base se verificó que con el acero de 1/2" la cuantía del acero baja en un 36% respecto a la cuantía del acero de 5/8". Como se aprecia en la figura y no cumple con la cuantía mínima requerida de 18.4.

Figura 50

Comparación de valores obtenidos por cuantía mínima en base

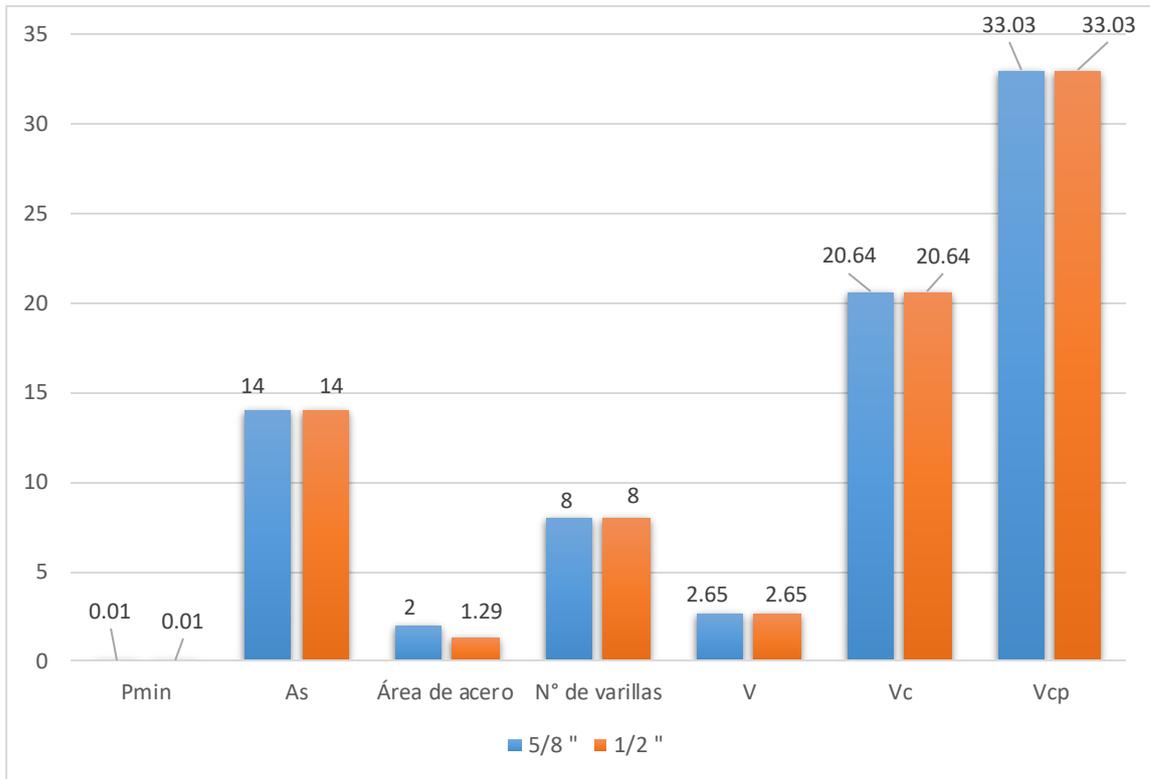


Fuente: Elaboración propia

Mientras comportamiento del acero en el pedestal no muestra variación ya que la evaluación es por cortante y en el cálculo demostrado se usó un mínimo confinamiento por sismo que corresponde a acero de 3/8" @0.05 , 4 @ 0.10 rto. 0.15.

Figura 51

Comparación de valores obtenidos por cuantía mínima en pedestal



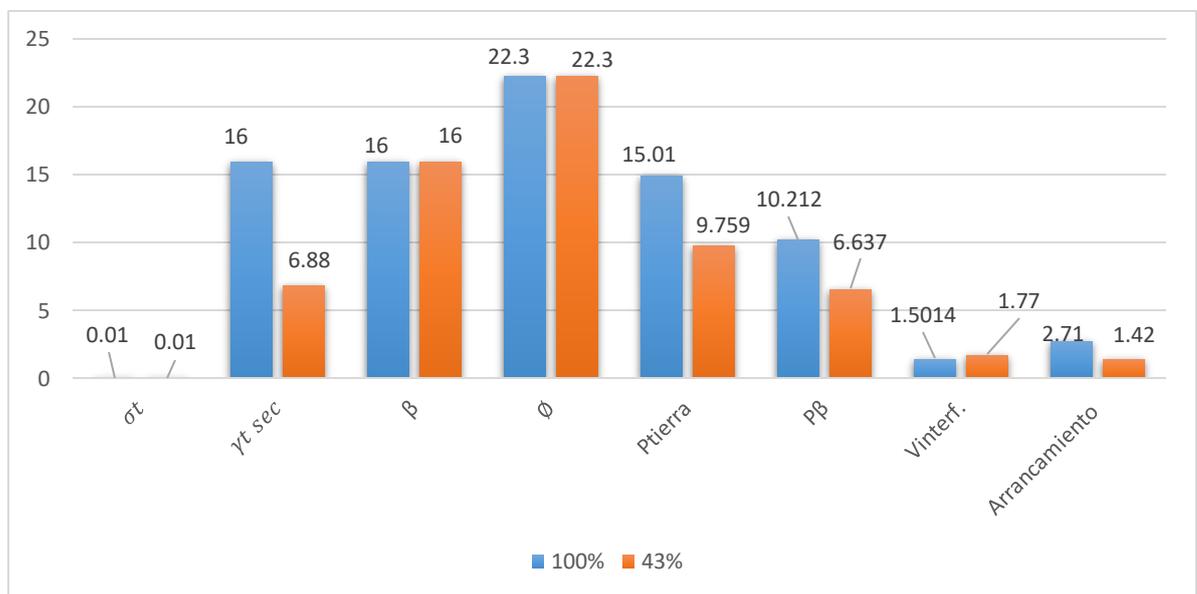
Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Resultados analizando el grado de compactación

Después de la verificación por volteo se determinó que el Peso de la tierra ( $P_{tierra}$ ) se reduce en un 34.98 %, El  $P\beta$  sufre una reducción de 35 %, el volumen de interferencia se incrementa en un 15% y el arrancamiento vario en un 47%. Pues esto conlleva a que la relación entre la fuerza estabilizadora y la tracción máxima sea de 1.49 el cual es menor a 1.5 como requiere el principio de estabilidad.

Figura 52

Comparación de valores obtenidos por grado de compactación



Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Calidad del concreto con $f_c'$ de 175 Kg/cm<sup>2</sup>

La resistencia del concreto en la construcción de cimientos en torres de alta tensión se encuentra definida mediante un diseño establecido en el cálculo de la estructura, sin embargo en el proceso constructivo se verifico que esta resistencia se puede ver afectada o disminuida por diversos factores como el exceso de agua y la mala dosificación de los agregados, no habiéndose determinado como esto puede influir en la construcción de los cimientos en torres de alta tensión y su estabilidad posterior; por tanto se propuso inicialmente que la resistencia del concreto menor a  $f_c=210$  utilizado en la construcción de cimientos en torres de alta tensión modifica el  $V_c$ , sin embargo, no se sobrepasa el coeficiente  $V_u$ .

Al verificar por punzonamiento y cortante utilizando una resistencia del concreto de 175 Kg/cm<sup>2</sup>se obtuvo que:

Tabla 18:

*Comparación de la verificación por punzonamiento*

<b>VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO</b>	
<b><math>V_c</math></b>	Disminuye 9.31%
<b><math>V_c \text{ Lim}</math></b>	Disminuye 8.71%
<b><math>\phi V_c</math></b>	Disminuye 8.70 %

*Fuente: Elaboración Propia.*

En la figura N 48 se aprecia las diferencias entre el concreto requerido y el concreto utilizado en el proceso constructivo donde el valor del  $V_c$  sigue siendo superior al valor del  $V_c$  aunque el  $F_c$  del concreto baje a 175 Kg/cm

Del mismo modo y para una situación con  $F_c'$  igual a 175 Kg/cm<sup>2</sup> en la verificación por cortante se obtuvo que el  $V_c$  se reduce en un 8.73% y el  $\phi V_c$  Disminuye 8.70 %.

Tabla 19:

*Comparación de la verificación por punzonamiento*

VERIFICACIÓN POR CORTANTE	
$V_c$	Disminuye 8.73%
$\phi V_c$	Disminuye 8.70 %

Fuente: Elaboración propia

Así también en la figura N 49 se aprecia las diferencias entre el concreto requerido y el concreto utilizado en el proceso constructivo donde el valor del  $V_c$  también sigue siendo superior al valor del  $V_c$  aunque el  $F_c$  del concreto baje a 175 Kg/cm<sup>2</sup>

Por tanto se acepta la hipótesis de partida, en vista que se demostró que la resistencia del concreto menor a  $f_c=210$  utilizado en la construcción de cimientos en torres de alta tensión se modifica el Esfuerzo resistente  $V_c$ , sin embargo, no sobrepasa el esfuerzo cortante actuante  $V_u$ , lo que implica que un concreto de menor resistencia en la construcción de cimientos de torres de alta tensión, no tiene mayor incidencia en los esfuerzos de cimiento, aspecto que finalmente no altera la estabilidad de la torre de alta tensión tomada como muestra.

## 5.2 Calidad del acero con Cuantía de acero 1/2"

La cuantía del Acero en la construcción de cimientos en torres de alta tensión puede verse modificada en el proceso constructivo, al cambiar las dimensiones iniciales del acero con dimensiones menores a los establecidos debido a problemas logísticos y habilitaciones erróneas de acero, no se tiene claramente establecido como estos cambios de dimensionamiento pueden afectar al cimiento y su estabilidad. Por tanto, en base a la experiencia en estructuras y cimientos de concreto reforzado se planteó inicialmente que una cuantía de acero menor a lo diseñado, utilizado en la construcción de cimientos en torres de alta tensión disminuye la capacidad del cimiento a momentos flexionantes.

Respecto a la base se verificó que con el acero de 1/2" la cuantía del acero baja en un 36% respecto a la cuantía del acero de 5/8". Como se aprecia en la figura N 50 y no cumple con la cuantía mínima requerida de 18.4.

Mientras comportamiento del acero en el pedestal no muestra variación como se aprecia en la Figura N 51 ya que la evaluación es por cortante y en el cálculo demostrado se usó un mínimo confinamiento por sismo que corresponde a acero de 3/8" @0.05 , 4 @ 0.10 rto. 0.15.

Por tanto, se acepta la hipótesis de partida que al disminuir la cuantía del acero, se afecta considerablemente la capacidad del cimiento de soportar momentos flexionantes en este evento la estructura no soportaría las cargas por flexión y se presentaría fracturación del concreto.

### **5.3 Calidad de la compactación con un grado de 43 %**

El grado de compactación en la construcción de cimientos en torres de alta tensión se determina por el peso que ejerce el relleno de compactación sobre la estructura para evitar el incremento del arrancamiento, efecto producido por las tensiones de los cables, sin embargo en el proceso constructivo se verificó que el grado de compactación disminuye por efectos de la mala compactación y usando materiales no adecuados, el cual no se sabe cómo esto puede influir en la construcción de los cimientos en torres de alta tensión y su estabilidad posterior para evitar el volteo; por tanto se propuso inicialmente que: Un menor grado de compactación disminuye el peso del terreno, lo que influye al incrementar el arrancamiento en el cimiento que se verifica en una relación menor a 1.5 entre la fuerza estabilizadora y fuerza de tracción.

Después de la verificación por volteo se determinó que el Peso de la tierra ( $P_{tierra}$ ) se reduce en un 34.98 %, El  $P\beta$  sufre una reducción de 35 %, el volumen de interferencia se incrementa en un 15% y el arrancamiento vario en un 47%. Como se aprecia en la Figura N 52 Pues esto conlleva a que la relación entre la fuerza estabilizadora y la tracción máxima sea de 1.49 el cual es menor a 1.5 como requiere el principio de estabilidad.

Por tanto, se acepta la hipótesis de partida que al disminuir el grado de compactación también disminuye el peso del terreno lo que influye en incrementar el arrancamiento en el cimiento ya que este evento conlleva a un volteo la estructura inhabilitando la capacidad del cimiento de dar estabilidad a la estructura.

## 5.4 Discusión general

La calidad del concreto, acero y compactación en la construcción del cimiento de torres de alta tensión están establecidas cuando los parámetros de diseño de ingeniería se cumplen en la etapa de proceso constructivo, pues en algunas oportunidades esta calidad se ve afectada por desconocimiento y mala ejecución de los mismos, y estos estándares decaen provocando disminución de resistencia y capacidad de estabilidad en una estructura.

En el caso del concreto con una calidad inferior que corresponde a una menor resistencia se obtuvo resultados negativos sin embargo la capacidad de resistencia comprobada para el  $f_c$  todavía tiene la capacidad de soportar la carga de la estructura, en el caso de una cuantía menor la capacidad de soportar los esfuerzos de flexión se ven disminuidos, considerándose como resultados negativos porque afectaría al concreto en vista que al no soportar las cargas de flexión el concreto podría presentar falla por fracturación. En el caso del grado de compactación los resultados obtenidos fueron negativos debido a que la disminución del peso en la compactación, disminuyen notablemente la capacidad de estabilidad de la estructura, generando volteo.

Por tanto, se acepta la hipótesis general de partida, en vista que se pudo demostrar que, al mantener la calidad del concreto, acero y compactación propuestos en el diseño, estas características de resistencia y capacidad de estabilidad influyen positivamente en la construcción de cimientos en torres de alta tensión.

## CONCLUSIONES

- 1) Cuando la calidad del concreto representado por la resistencia  $f'c$  baja a 175 kg/cm<sup>2</sup>, el  $\phi Vc$ , se reduce a un 8.70% para el punzonamiento y el  $Vc$  se reduce en un 8.73% para la cortante debido a que estos parámetros están en función al  $f'c$  del concreto, luego al ser evaluados con el  $Vu$  de diseño siguen cumpliendo la relación de resistencia a los esfuerzos sometidos.
- 2) Cuando la calidad del acero representado por la cuantía mínima se reduce a un acero de 1/2" el valor de la cuantía se reduce en un 36% y comparado con la cuantía de diseño se disminuye la resistencia a momentos flexionantes de diseño, esto induce a transmitir los esfuerzos al concreto existiendo la posibilidad de falla por fisura.
- 3) Cuando la calidad de la compactación representado por el grado de compactación baja a un 43%, el peso del relleno baja en un 34.98 %, el  $P\beta$  sufre una reducción de 35%, el volumen de interferencia se incrementa en un 15%, produciendo que el peso estabilizante disminuya y verificándolo por el principio de arrancamiento incrementa el riesgo de volteo considerablemente.
- 4) Una resistencia menor en el concreto, una cuantía menor de acero y un menor grado de compactación que se generan en un inadecuado proceso constructivo de los cimientos en torres de alta tensión, provocan una disminución de resistencia y capacidad de estabilidad en la estructura. En el caso del concreto disminuye el esfuerzo resistente respecto al esfuerzo actuante, sin embargo, la capacidad de resistencia comprobada para el  $f'c$  todavía tiene la capacidad de soportar la carga de la estructura, en el caso de una cuantía de acero menor, las capacidades de soportar los esfuerzos de flexión disminuyen y la estructura al no soportar las cargas de flexión es posible que se presente fallas por fracturación. En lo concerniente al grado de compactación, la disminución del peso de la compactación disminuye la capacidad de estabilidad de la estructura, existiendo la posibilidad de volteo, por tanto, es el factor más importante a tener en cuenta en la estabilidad de la estructura.

## RECOMENDACIONES

- 1) En el caso de la resistencia del concreto , al encontrarse concretos de menor calidad en los cimientos se verifico con el estudio que no es determinante en la estabilidad de la estructura, por tanto sería recomendable determinar un rango normativo para este tipo de estructuras en vista que los esfuerzos actuantes son mínimos a comparación de los resultados de los esfuerzos resistentes obtenidos, mediante el cual se podría tomar las decisiones adecuadas para las tolerancias en los controles de calidad.
- 2) Para la cuantía del acero es recomendable habilitar el acero adecuado antes de la instalación del refuerzo, de no contar con el acero requerido, se deberá calcular por flexión con la cuantía del acero que se tiene cuidando con cumplir la cuantía mínima requerida pues esto conlleva a redistribuir los espaciamientos del acero que se tiene y con este nuevo cálculo se cumpliría lo requerido para los esfuerzos a flexión.
- 3) Respecto a la calidad de la compactación se recomienda compactar controlando con el método del cono de arena llegando a un grado de compactación mínimo de 80 %, en caso contrario la capacidad de estabilidad del cimiento disminuye considerablemente incrementándose el riesgo de volteo.
- 4) Para tener un aseguramiento de la calidad óptimo en la construcción de cimientos en torres de alta tensión, es recomendable registrar cada proceso constructivo uno antes de otro haciendo uso de los registros de calidad, esto permitiría mitigar los riesgos que ponen en peligro la estabilidad de la torre de alta tensión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Alvarez, D. (2017). *Diseño de cimientos a base de zapatas aisladas para torres de transmisión eléctrica aplicado en el proyecto de Condorcocha - Tarma - Junín*. (Tesis de pregrado). Universidad Continental; Huancayo, Perú.
- 2) Barragán, A. (2013). *Análisis de una torre de transmisión eléctrica ante efectos de viento atmosférico y de tromba: relación del costo de la torre en función de la velocidad del viento*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México; México.
- 3) Berrocal, J. (2013). *Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo*. (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, Perú.
- 4) Cruz, J. y Sanchez, M. (2010). *Diseño geotécnico de la cimentación a base de zapatas aisladas ancladas en roca para el proyecto L.T. Quevedo – Menonita*. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional; México.
- 5) Laura, S. (2016). *Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno, para cimentaciones superficiales*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- 6) Portalino, F. (2017). *Alternativa de fundación con micropilotes helicoidales para torres de telecomunicaciones en suelos granulares*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú.
- 7) Ruíz de Abarca, M. (2018). *Soluciones para el diseño y construcción de cimentaciones de torres de Transmisión eléctrica de alta tensión*. (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador; El Salvador llegó a las siguientes principales conclusiones:

- 8) Quezada, J. (2005). *Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile; Valdivia, Chile.
- 9) *Reglamento Nacional de Edificaciones – Concreto Armado*. (4ta. Ed). Lima, Perú. 2012.
- 10) *Código Nacional de Electricidad, Ministerio de energía y Minas – Suministro*, Lima, Perú, 2011.
- 11) Hidrandina S.A., Volumen II (2006). “*Estudios de los Costos de Peaje de Transmisión Secundaria*”, Lima, Perú
- 12) De la cruz J. y Sánchez M. (2010). Tesis “*Diseño geotécnico de la cimentación a base de zapatas aisladas ancladas en roca para el proyecto I.t. Quevedo*” – Menonita. México.
- 13) Simón C., Garnacho F., Moreno J. y Gonzáles A. (2011). “*Cálculo y Diseño de líneas Eléctricas de Alta Tensión*”. (1ª. Ed). España.
- 14) UNIVALLE (2005). “*Subestaciones eléctricas*” Cap. I. Universidad del Valle. Colombia.
- 15) OSINERMING (2018) “*Supervisión de Contratos de Proyectos de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica en Operación*” Lima – Perú.
- 16) Ortega, J. (2015) “*Diseño de estructuras de Concreto Armado*” Primera edición. Editorial Macro, Lima – Perú.
- 17) Moran, G. y Alvarado, D. (2010) “*Métodos de Investigación*”. Primera Edición. Editorial Pearson Educación de México S.A. México.

18)Vargas, Z (2009) *Artículo: La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica* Universidad de Costa Rica. San Pedro, Montes de Oca, Costa Rica.

19)Jon, G (2015) *Diseño y cálculo de estructuras de cimentación y contención* Universidad Politécnica de Madrid”, España.

## PAGINAS CONSULTADAS

- 1) <http://www.sectorelectricidad.com/5612/tipos-de-estructuras-para-alta-media-y-baja-tension> (15 de Setiembre del 2018)
- 2) <http://transporteenergia2014.blogspot.com/2014/11/elementos-que-componen-una-linea-de.html> (19 de Setiembre del 2018)
- 3) Ministerios De Energía Y Minas (2016). Obtenido por Osinergmin Blog:<http://osinergmin.gob.pe//OtrosEstudios/AtlasEolico/AtlasEolicoLibro>. ( 23 de Setiembre del 2018)
- 4) Instituto Para La Diversificación Y Ahorro De La Energía – Madrid (2016) Recuperado de Blog: [http://idae.es/uploads/documentos\\_atlas\\_eolico](http://idae.es/uploads/documentos_atlas_eolico) (28 de Setiembre del 2018)
- 5) 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> (30 de Setiembre del 2018)
- 6) American Concrete Institute (2017). Recuperado del Blog: [https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI\\_31805\\_Espanhol.pdf](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_31805_Espanhol.pdf). (05 de Octubre del 2018)
- 7) <http://www.sectorelectricidad.com/5612/tipos-de-estructuras-para-alta-media-y-baja-tension/> (09 de Octubre del 2018)
- 8) <http://transporteenergia2014.blogspot.com/2014/11/elementos-que-componen-una-linea-de.html> (15 de Noviembre del 2018)

## **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### INFLUENCIA DE CALIDAD DEL CONCRETO, ACERO Y COMPACTACIÓN EN CONSTRUCCIÓN DE CIMIENTOS EN TORRES DE ALTA TENSION

Bach. José Alejandro Coca Erquinio

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METDOLOGÍA
<p><b><u>INTERROGANTE PRINCIPAL</u></b></p> <p>¿Cómo es la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?</p>	<p><b><u>OBJETIVO GENERAL</u></b></p> <p>Establecer cuál es la calidad de la cimentación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p>	<p><b><u>HIPOTESIS GENERAL</u></b></p> <p>Hi: La calidad de la cimentación es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p>	<p><b><u>VARIABLE 1</u></b></p> <p><b>V1. Calidad de la Cimentación.</b></p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia del concreto</li> <li>- Cuantía del Acero</li> <li>- Grado de compactación</li> </ul>	<p><b><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u></b></p> <p>Investigación Aplicada</p>
<p><b><u>INTERROGANTES ESPECÍFICAS</u></b></p> <p>- ¿Cómo es la resistencia del concreto en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?</p> <p>- ¿Cómo es la cuantía del acero en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?</p> <p>- ¿Cómo es el grado de compactación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, Sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma?</p>	<p><b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></b></p> <p>- Explicar cuál es la resistencia del concreto en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p> <p>- Mostrar cuál es la cuantía del acero en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p> <p>- Determinar cuál es el grado de compactación en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, en la sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p>	<p><b><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u></b></p> <p>a) La resistencia del concreto es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p> <p>b) La cuantía del acero es adecuada en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p> <p>c) El grado de compactación es adecuado en la construcción de torres de alta tensión de la línea de transmisión 138 kV, sub estación la Virgen – Sub estación Caripa, Tarma.</p>	<p><b><u>VARIABLE 2</u></b></p> <p><b>V2. Construcción de torres de alta tensión .</b></p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación Por cortante</li> <li>- Verificación por punzonamiento</li> <li>- Arrancamiento y de volteo</li> </ul>	<p><b><u>NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN</u></b></p> <p>Descriptivo</p> <p><b><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u></b></p> <p>No experimental</p> <p>El diseño tiene el siguiente esquema de Investigación:</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD     M1 --&gt; V1     M1 --&gt; V2     V1 --&gt; V2             </pre> </div> <p>Donde:</p> <p>V1 = Calidad de la Cimentación</p> <p>V2 = Construcción de torres de Alta Tensión</p> <p>M1 = Muestra considerada.</p> <p><b><u>ÁMBITO DE ESTUDIO</u></b></p> <p>Proyecto “Línea de transmisión Eléctrica 138 kV S.E. La Virgen - S.E. Caripa”, en el distrito de Palca, provincia de Tarma de la región Junín.</p>

				<p><b><u>POBLACIÓN</u></b></p> <p>160 torres de alta tensión construidas en el proyecto "línea de transmisión 138 kV S.E. La Virgen - S.E. Caripa", ubicada en la región Junín</p> <p><b><u>MUESTRA</u></b></p> <p>Muestreo no probabilístico, de tipo intencionado.</p> <p>01 torre N° 120</p> <p><b><u>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</u></b></p> <p>Verificación en campo</p> <p>Análisis documentario</p> <p>Modelamiento y resultados:</p> <p><b><u>INSTRUMENTOS</u></b></p> <p>Prensa Hidráulica f'c para las hojas de registro de ensayo a compresión simple</p> <p>Flexómetro y Vernier Acero para las hojas de registro del inspección de acero de refuerzo</p> <p>Cono de Arena Densidad para las hojas de registro de ensayo de densidad de campo</p>
--	--	--	--	--



**ASEGURAMIENTO DE CALIDAD  
REGISTRO DE VACIADO DE CONCRETO**

ID: 0108000901-0000-CI-FTM-007  
 Revisión: B  
 Fecha:  
 Especialidad: Civil

PROYECTO: <i>LT. 135 KV SS.EE. "LA VIRGEN" - SS.EE. "CARIPA"</i>	FECHA: <i>02-06-2016</i>
CONTRATISTA: <i>G.C.Z. INGENIEROS</i>	N° DE PROTOCOLO: <i>99</i>
DOC. DE REFERENCIA: <i>EE. TT.</i>	SECTOR/AREA: <i>CIVIL</i>
PLANOS: <i>C1 - EST - 05</i>	PAGINA: <i>1</i> DE <i>1</i>

DESCRIPCIÓN ESPECIFICA DEL ELEMENTO (s):  
*TORRE. N° 120.*

TIPO DE ESTRUCTURA(S) A SER VACIADA(S) (DESCRIPCIÓN COMPLETA):  
*BASE Y PEDESTAL DE TORRE.*

No. DE ESPECIFICACIÓN: *---*

**INFORMACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN**

METROS CÚBICOS: <i>5.82.</i>	DISEÑO DE MEZCLA (Mpa): <i>210 kg/cm<sup>2</sup></i>	ALTITUD (m. s. n. m.): <i>3460.</i>
ADITIVOS REQUERIDOS: <i>NINGUNO.</i>	SLUMP (in): <i>3"-4"</i>	
ACABADO REQUERIDO: <i>FROTACHADO</i>	MÉTODO DE CURADO REQUERIDO: <i>AGUA.</i>	

1 Nivel de Fundación:	2 Refuerzo:	3 Embebidos:	4 Encofrados:
Terreno estable <i>C</i>	Limpieza <i>C</i>	Pernos de anclaje (Diámetro, Long, Tipo) <i>C</i>	Verificación Topográfica <i>C</i>
Compactación <i>C</i>	Diámetro <i>C</i>	Pernos de anclaje (Ubicación, Proyección) <i>C</i>	Orientación <i>C</i>
Limpieza <i>C</i>	Traslapes <i>C</i>	Pernos de anclaje (mangas o cajuelas) <i>NA</i>	Ubicación (coord.) <i>C</i>
Humedad <i>C</i>	Espaciamiento <i>C</i>	Cimentación de Pernos de Anclaje <i>NA</i>	Dimensiones <i>C</i>
Nivel <i>C</i>	Recubrimiento <i>C</i>	Ángulos de Acero <i>C</i>	Limpieza y desmoldante <i>C</i>
Inst. Subterráneas Mec. & Elec. <i>NA</i>	Soporte Adecuado <i>C</i>	Puesta a tierra <i>C</i>	Ochavos <i>C</i>
	Estribos <i>C</i>	Conductores <i>C</i>	Alineam., nivel y plomo <i>C</i>
		Tuberías <i>NA</i>	Arriostre, Estanqueidad <i>C</i>
		Insertos <i>NA</i>	Nivel de vaciado <i>C</i>
		Water Stop <i>NA</i>	

5. Varios:

Liaves <i>NA</i>	Tipo de acabado <i>C</i>	Curado <i>C</i>
Rugosidad de la superficie <i>NA</i>	Probetas <i>C</i>	Control de relleno <i>C</i>
Puente de adherencia <i>NA</i>	Protección del Clima <i>C</i>	Juntas en el concreto <i>C</i>

Equipo especial para vaciado (Bombas, Grúa, chute, vibradores, etc.) *NA*

Legenda : Conforme = C / No Conforme = NC / No Aplica = NA

**VACIADO**

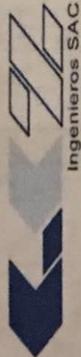
DESCRIPCIÓN DEL CLIMA: <i>SOLEADO.</i>	COLOCACIÓN INICIADA	COLOCACIÓN TERMINADA
DISEÑO DE MEZCLA (fc): <i>210 kg/cm<sup>2</sup></i>	FECHA: <i>09:50 a.m</i>	<i>11:05 a.m</i>
CANTIDAD (m3): <i>5.82</i>	HORA: <i>02/06/2016</i>	<i>02/06/2016</i>
SLUMP (Pulg): <i>5"-6"</i>	TEMPERATURA DE CONCRETO: <i>18°C</i>	TEMPERATURA DE AMBIENTE: <i>15°C</i>
IDENTIFICACIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO: <i>TORRE N° -</i>	METROS CÚBICOS COLOCADOS FINALMENTE:	
REQUIERE AGUA FRIA PARA EL CURADO: <i>SI</i>	REQUIERE AGUA CALIENTE PARA EL CURADO: <i>NO</i>	

COMENTARIOS / OBSERVACIONES:

- SE PRESENCIO UN AUMENTO DE AGUA EN LA HORA DE VACIADO.*
- SE ENCUENTRA EN OBSERVACIÓN HASTA ROTURA DE PROBETA.*
- POSIBILIDAD DE BAJA RESISTENCIA.*

TOPÓGRAFO DEL CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

CONTRATISTA		CLIENTE	
FECHA: <i>02-06-2016</i>	FECHA: <i>02-06-2016</i>	FECHA: <i>02/06/2016.</i>	FECHA: <i>02-06-2016.</i>
<i>Riquelme del Olivo</i> <i>Nigel del Valdivia</i> RESIDENTE	<i>Maximo Enciso</i> CALIDAD	<i>MARCELO CHAVEZ</i> SUPERVISIÓN	<i>Boers Soto</i> PRODUCCION



**ASEGURAMIENTO DE CALIDAD  
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA  
COMPRESION SIMPLE**

ID: 0108000901-0000-CI-FTM-002

Revisión: B

Fecha:

Especialidad: Civil

PROYECTO: C.T. 155 kV SS.EE "LA VIRGEN" - SS.EE. "CANIPA"

CONTRATISTA: G.C.Z. INGENIEROS

DOC. DE REFERENCIA: E.C.T.T.

PLANOS: C1-EST-05.

DESCRIPCION ESPECIFICA DEL ELEMENTO (s): TORRE NO 120.

FECHA: 03-06-2016

N° DE PROTOCOLO: 136

SECTOR/AREA: CIVIL.

PAGINA: 1 DE 1

EDAD DIAS: 21 DIAS.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
(ASTM C-39, NTP 339,034)

Codigo	Fecha Vaciado	Slump (pulg)	Fecha de rotura	f'c diseño kg/cm <sup>2</sup>	Diámetro cm	Carga kN.	Edad días	Carga kg.	Area cm <sup>2</sup>	Resistencia		Prom. %
										kg/cm <sup>2</sup>	%	
01	02/06/16	5"-6"	23/06/16	210kg/cm <sup>2</sup>	15.3	921.6	21	32794	184	175	85	

COMENTARIOS / OBSERVACIONES:

- NO CUMPLE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE 210kg/cm<sup>2</sup> SE RECOMIENDA DEMOLIR LA ESTRUCTURA ROTURADA.

Tecnico Responsable:

Firma:

CONTRATISTA		CLIENTE	
FIRMA: 23/06/2016	FIRMA: 23/06/2016	FIRMA: 023/06/2016.	FIRMA: 23/06/2016
RESIDENTE	CALIDAD	SUPERVISION	PRODUCCION



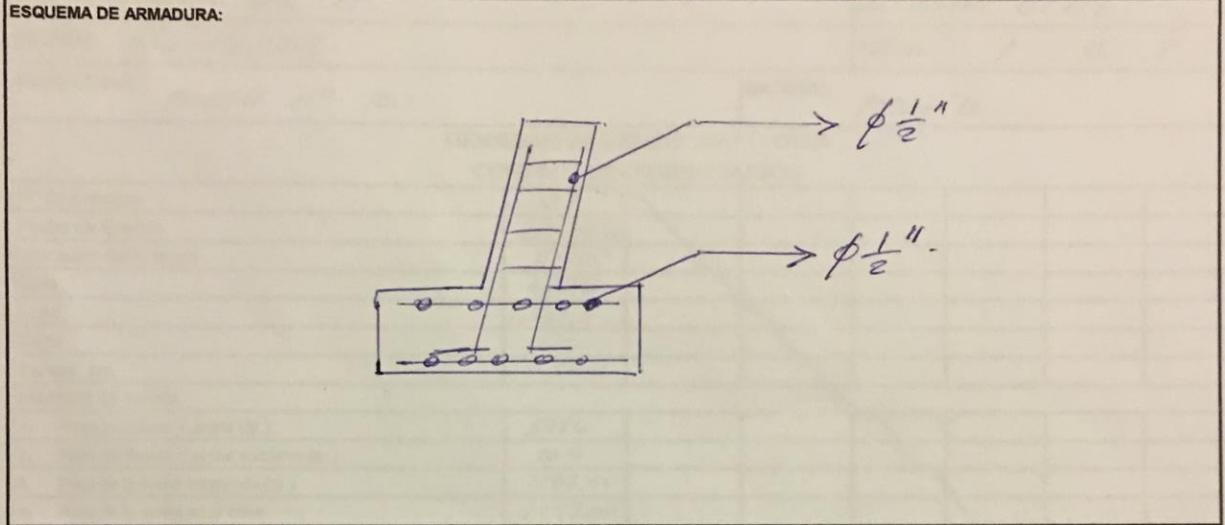
**ASEGURAMIENTO DE CALIDAD  
INSPECCION DE ACERO DE  
REFUERZO**

ID: 0108000901-0000-CI-FTM-003  
 Revisión: B  
 Fecha:  
 Especialidad: Civil

PROYECTO: CT. 135KV SSEE "CAJIRGEN" - SSEE "CARIPA"  
 CONTRATISTA: S.C.Z. INGENIEROS  
 DOC. DE REFERENCIA: E.E. T.T.  
 PLANOS: CI-1AR-012

FECHA: 01-06-2016  
 N° DE PROTOCOLO: 148  
 SECTOR/AREA: CIVIL  
 PAGINA: 1 DE 1

DESCRIPCION ESPECIFICA DEL ELEMENTO (s):  
 TORRE N° 120.



**VERIFICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO**

PUNTOS DE CONTROL	VERIFICACIÓN				COMENTARIOS
	C	NC	NA	R	
LIMPIEZA (Corrosión, concreto, grasa)	✓				
CALIDAD DEL ACERO (Norma ASTM, grado, marca)	✓				
DIÁMETRO DE VARILLA (pulg), indicar si es liso o corrugado		✓			Se usó $\phi \frac{1}{2}$ "
LONGITUD DE TRASLAPE (mm)	✓				
CORRECTA UBICACIÓN DE TRASLAPES	✓				
LONGITUD DE GANCHO (mm)	✓				
RADIO DE DOBLEZ (mm)	✓				
ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS (mm)	✓				
ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS (mm)	✓				
ALAMBRE DE AMARRE	✓				
SOPORTES PARA RECUBRIMIENTO CONTRA BASE (mm)	✓				
SOPORTE PARA RECUBRIMIENTOS LATERAL (mm)	✓				
VERTICALIDAD (PLOMADA)	✓				
HORIZONTALIDAD (NIVEL)	✓				

C = CONFORME; NC = NO CONFORME; NA = NO APLICA; R = CORREGIDO/REPARADO

COMENTARIOS / OBSERVACIONES:  
 - No cumple con el dimensionamiento requerido. Se usó  $\phi \frac{1}{2}$ "  
 se usó ACERO DE  $\frac{1}{2}$ "

CONTRATISTA		CLIENTE	
FIRMA: 05-07-2016 <i>Miguel Valdivia</i> RESIDENTE	FIRMA: 05-07-2016 <i>Maximo Enciso</i> CALIDAD	FIRMA: 01-06-2016 <i>Aracelio Chavez</i> SUPERVISION	FIRMA: 01-06-2016 <i>Boris Soto</i> PRODUCCION



**ASEGURAMIENTO DE CALIDAD  
ENSAYO DE DENSIDAD  
DE CAMPO**

ID: 0108000901-0000-CI-FTM-001  
 Revisión: B  
 Fecha:  
 Especialidad: Civil

PROYECTO: LT. 135KV SS.EE. "LA VIRGEN" - SS.EE. "CARIPA"  
 CONTRATISTA: G.C.Z. INGENIEROS.  
 DOC. DE REFERENCIA: EE-TT.  
 PLANOS: 01-M3-015  
 ESTRUCTURA: TORRE N° 120.  
 MATERIAL: PROPIO

FECHA: 05-07-2016  
 N° DE PROTOCOLO: 229  
 SECTOR/AREA: CIVIL.  
 PAGINA: 1 DE 1

**DENSIDAD DE CAMPO ASTM - D1556  
CONTROL DE COMPACTACION**

N° de Ensayos	01								
Fecha de Ensayo	05-07-16								
Ubicación del Ensayo	T-120								
Cota	-1.20								
Lado	1,2,3,4.								
Capa	EXT.								
Espesor (m)	0.20m.								

<b>DENSIDAD DE CAMPO</b>									
1. Peso del frasco + arena (gr.)	3456								
2. Peso del frasco + arena sobrante (gr.)	168								
3. Peso de la arena empleada (gr.)	3288.00								
4. Peso de la arena en el cono	1527.00								
5. Peso de la arena en el hueco	1761.00								
6. Densidad de la arena calibrada	1.4								
7. Peso del suelo (gr.)	1257.86								
8. Volumen del suelo (cc)	1280								
9. Densidad Humeda (gr/cm3)	0.884								

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
10. Humedad de campo	15.16								

<b>RESUMEN DEL ENSAYO PROCTOR</b>									
11. Máxima Densidad Seca (Laboratorio)	2.07								
12. Optimo Contenido de Humedad (Laboratorio) (%)	7.8								
13. Densidad Seca (Campo) (gr/cm3)	0.884								
% COMPACTACION	43%								

COMENTARIOS / OBSERVACIONES:  
 SE VERIFICÓ Q' EL GRADO DE COMPACTACION NO ALCANZA EL 100%  
 REQUERIDO. RE RECOMIENDA REESTRUCTURACION TOTAL DEL CIMENTO.

Nombre del Tecnico: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

<b>CONTRATISTA</b>		<b>CLIENTE</b>	
FECHA: 05-07-2016	FECHA: 05-07-2016	FECHA: 05-07-2016	FECHA: 05-07-2016
 Miguel Valdivia RESIDENTE	 Maximo Enciso CALIDAD	 MARCO ANTONIO CHAVEZ SUPERVISOR	 Carlos Loto PRODUCCION



## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Señor:

José Alejandro Coca Erquinio.

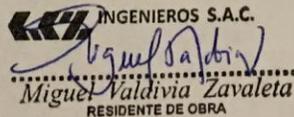
Presente.-

Me dirijo a Ud. Para expresarle un cordial saludo; Al mismo tiempo, para autorizar y brindarle nuestra colaboración para que pueda llevar a cabo parte de su investigación de grado y la ejecución de su tesis en el proyecto **L.T. 138 kV S.E. LA VIRGEN – S.E. CARIPA**, ubicado en la provincia de Tarma, departamento de Junín, el STAFF de profesionales habrán de ofrecerle la ayuda que Ud. Necesita.

Deseándole éxito en su investigación y confiamos que la misma resulte una aportación valiosa en el desarrollo de la Ingeniería Peruana.

La empresa expide la presente carta para los fines que estime conveniente.

Atentamente

  
INGENIEROS S.A.C.  
Miguel Valdivia Zavaleta  
RESIDENTE DE OBRA