

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA



**VARIACIONES DE LA CIMENTACIÓN EN LA
LÍNEA DE TRANSMISIÓN CAMPAS-CARAPONGO A 500KV, 2023**

TESIS

Presentada por:

Bach. Isaura Carbajal Cano

ORCID: 0000-0001-7940-5526

Asesor:

Dr. Samuel Huaquisto Cáceres

ORCID: 0000-0002-9294-6359

**Para obtener el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**

TACNA – PERU

2024

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

Tesis

**“VARIACIONES DE LA CIMENTACIÓN EN LA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN CAMPAS-CARAPONGO A 500KV, 2023”**

Presentada por:

Bach. ISAURA CARBAJAL CANO

**Tesis sustentada y aprobada el 01 de junio de 2024; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: DR. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

SECRETARIO: DR. MARTIN PAUCARA ROJAS

VOCAL: MTRO. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO

ASESOR: DR. SAMUEL HUAQUISTO CÁCERES

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Isaura Carbajal Cano, en calidad de egresada de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Geotecnia de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 4832191.

Soy autor (a) de la tesis titulada:

Variaciones de la cimentación en la línea de transmisión Campas-Carapongo a 500kV, 2023, con asesor (a): Dr. Samuel Huaquisto Cáceres.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil con Mención en Geotecnia, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 19 % de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y

a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 01 de junio de 2024.



Isaura Carbajal Cano

DNI: 46832191

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia, por guiarme y brindarme su apoyo, su confianza y por siempre motivarme a lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada de Tacna, a mi asesor y a todas aquellas personas quienes me apoyaron de manera incondicional y contribuyeron en la realización de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE APÉNDICES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1 Interrogante principal.....	16
1.2.2 Interrogantes secundarias.....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.2 BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.1 El suelo y su origen.....	22
2.2.2 Mecánica de suelos.....	26
2.2.4 Línea eléctrica.....	29
2.2.5 Capacidad de carga última.....	32
2.3.1 Variación.....	33
2.3.2 Suelo.....	33
2.3.3 Torre eléctrica.....	33
2.3.4 Cimentación.....	33
2.3.5 Tiempo.....	33

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	34
3.1 HIPÓTESIS	34
3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	34
3.2.1 Identificación de la variable.....	34
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	35
3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA	36
3.7.1 Unidad de estudio	36
3.7.2 Población	36
3.7.3 Muestra	36
3.8 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	36
3.8.1 Procedimiento	36
3.8.2 Técnicas	37
3.8.3 Instrumentos.....	37
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	38
4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	38
4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	38
4.3 RESULTADOS	39
4.3.1 Requisitos de la norma técnica E.050.....	41
4.3.2 Métodos de exploración de suelos	42
4.3.3 Variaciones de la cimentación.....	43
4.3.4 Causas de variación en la cimentación	46
4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS	56
APÉNDICE	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Orden de presentación de resultados	38
Tabla 2 Descripción geométrica de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	39
Tabla 3 Requisitos de la norma técnica E.050 considerados en el informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas – Carapongo a 500kV - S2.	41
Tabla 4 Muestra por cada variación que se presentó en la cimentación de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	43
Tabla 5 Muestra por cada causa que generó variación de la cimentación de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de cimentaciones tipo zapata y pilastra utilizada en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	40
Figura 2 Métodos de exploración de suelos usados en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV, S2.	42
Figura 3 Variaciones de la cimentación de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	44
Figura 4 Esquemas de plantillado de patas (secciones diagonales) y estimación de afloramiento de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	48
Figura 5 Causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.	50

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1 Matriz de consistencia del informe final de tesis.	62
Apéndice 2 Instrumentos utilizados.	63
Apéndice 3 Matriz de datos.	67

RESUMEN

Los proyectos de líneas de transmisión son proyectos de gran envergadura que conllevan al desarrollo de un país, pero enfrentan grandes desafíos durante su construcción tales como la variación en su cimentación de las torres. Es por ello que la presente investigación titulada “Variaciones de la cimentación en la línea de transmisión Campas-Carapongo a 500kV, 2023” tuvo como objetivo general determinar las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2. Para esta investigación se utilizó el diseño de investigación no experimental, de nivel descriptiva; teniendo como variable a la variación de la cimentación. La población estuvo constituida por la Línea de Transmisión Campas - Carapongo a 500kV y la muestra fue de carácter intencional no probabilístico y estuvo conformada por la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, el cual cuenta con 163 torres; los instrumentos usados para recolectar datos fueron la ficha técnica y las fichas de registro. Se determinó que la cimentación de las torres, de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, presentaron 3 tipos de variaciones: variaron en la altura que sobresale el pedestal, variación en la geometría de la cimentación y variación en el tipo de cimentación; estas variaciones surgieron debido a los criterios de plantillado/topografía del terreno, cambio de extensión de pata, cambio de ubicación de la torre y tipo de suelo. Se concluye que los resultados demuestran que el 50.31% de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, sufrieron variación en su cimentación, los cuales se dieron con mayor incidencia, por los criterios de plantillado/topografía del terreno (26.38%) y por el tipo de suelo (18.41%).

Palabras Claves: Variación, mecánica de suelos, línea de transmisión.

ABSTRACT

Transmission line projects are large-scale projects that lead to the development of a country, but they face great challenges during their construction such as the variation in the foundations of the towers. That is why the present investigation titled “Variations of the foundation in the Campas-Carapongo transmission line at 500kV, 2023” had the general objective of determining the variations of the foundation in the Campas - Carapongo transmission line at 500kV - S2. For this research, the non-experimental research design, at a descriptive level, was used; having as a variable the variation of the foundation. The population was made up of the Campas - Carapongo Transmission Line at 500kV and the sample was of an intentional, non-probabilistic nature and was made up of the Campas - Carapongo transmission line at 500kV - S2, which has 163 towers; The instruments used to collect data were the technical sheet and the record sheets. It was determined that the foundation of the towers, of the Campas - Carapongo transmission line at 500kV - S2, presented 3 types of variations: they varied in the height that the pedestal protrudes, variation in the geometry of the foundation and variation in the type of foundation; these variations arose due to the criteria of terrain template/topography, change in leg extension, change in tower location and soil type. It is concluded that the results show that 50.31% of the towers of the Campas - Carapongo transmission line at 500kV - S2, suffered variation in their foundation, which occurred with greater incidence, due to the template/topography criteria of the terrain (26.38%) and by the type of soil (18.41%).

Keywords: Variation, soil mechanics, transmission line.

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de líneas de transmisión a 500kV son proyectos de gran envergadura que conllevan al desarrollo de un país, pero enfrentan grandes desafíos durante la ejecución de obra por diversos factores.

A través de los años, durante la construcción de una línea de transmisión a 500kV se ha evidenciado que un cierto porcentaje de las torres han sufrido variación en su cimentación, es por ello que la presente investigación titulada “Variaciones de la cimentación en la línea de transmisión Campas-Carapongo a 500kV, 2023” tuvo por objetivo general determinar las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2; para lograr dicho objetivo se verificó el cumplimiento de los requisitos descritos en la norma técnica E.050, en el informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, luego se identificaron los métodos de exploración de suelos usados, se determinó el porcentaje de variación de las cimentaciones de las torres y finalmente se determinaron las causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión en estudio. La presente investigación consta de 4 capítulos tal como se detalla a continuación:

En el capítulo I se describe el planteamiento del problema desde una perspectiva general a lo específico, para luego formular las preguntas en forma de interrogante. Además, se ha presentado la justificación al tema de investigación para luego tener el objetivo general y los específicos.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico, el cual está compuesto de los antecedentes de la investigación y las bases teóricas; los cuales soportan la investigación.

En el capítulo III se detalla el marco metodológico, la operacionalización de variables, el tipo de investigación, el ámbito y tiempo social de la investigación, la población y la muestra, los procedimientos, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Finalmente, en el capítulo IV, se plasmaron los resultados agrupados por dimensiones y por pregunta, además de su resumen, para luego proceder con la discusión de los resultados, terminando con las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de transmisión de energía eléctrica se encuentra en el corazón de la industria energética y es vital para el desarrollo de un país; por ende, la inversión para estos proyectos es de miles de millones de dólares, pero suelen presentar retrasos que tienen un efecto adverso significativo en el desarrollo económico de un país (Pall et al., 2016). El objetivo de los proyectos de transmisión eléctrica es conectar los centros de producción de energía con los centros de consumo como las ciudades, sin embargo, su construcción implica una gran cantidad de retos e incertidumbres (Nundwe, 2017).

Uno de los temas críticos de los proyectos de líneas de transmisión es el diseño y la construcción de cimientos efectivos; los cuales representan grandes inversiones y brindan la mayor probabilidad de sobre costos de contratos y órdenes de cambio debido a condiciones imprevistas del suelo (Karels, 2019). El suelo es un material extremadamente variable e incierto; es por ello que, el potencial de incurrir en pérdidas financieras y de tiempo es grande si las propiedades del suelo y la roca no se cuantifican adecuadamente (Jaksa, 2000). Además, la fase de investigación del suelo de cualquier diseño geotécnico juega un papel vital, donde la caracterización inadecuada de las condiciones del subsuelo puede contribuir a una solución significativamente sobrediseñada que no es rentable, o a un diseño insuficiente, lo que puede conducir a fallas potenciales (Goldsworthy et al., 2007).

A nivel mundial, los registros muestran que las fallas de los cimientos de las torres también han sido responsables del colapso de las torres, estas fallas generalmente se han asociado con ciertas deficiencias en el diseño de la cimentación (Bade et al., 2016).

En India, el 12 de julio del 2016 se reportó la falla de las torres N.º 56 y 57 de la línea de transmisión Mariani-Mokokchung de 220 kV, las torres fallaron debido a que se había producido un derrumbe masivo en varios tramos de todo el cerro donde se encuentran las ubicaciones de las torres del 52 al 59. Además, el 26 de Julio del 2016 se reportó la falla de la torre No. 51 de la línea de transmisión

Patna-Kishanganj de 400 KV, causado por la falla de los cimientos en las Patas 'C' y 'D'(Central Electricity Authority, 2016).

En América del Sur, las líneas de transmisión también enfrentan desafíos durante la construcción, los cuales incluyen cambios en el diseño, gestión de terrenos, contratistas, interfaces, financiamiento y disputas contractuales. En un estudio realizado por los autores con 15 líneas de transmisión que representan aproximadamente 6000 kilómetros y 15 subestaciones construidas en los últimos cinco años en América del Sur, se obtuvo un sobrecosto promedio del 25 por ciento. Además, se experimentó un retraso promedio de 10 meses desde la fecha de finalización original (Ganut & Jay, 2018).

En el Perú, el Consorcio Transmantaro ha ejecutado la línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV, esta línea de transmisión forma parte del proyecto de transmisión eléctrica “Enlace 500kV Mantaro – Nueva Yanango – Carapongo y Subestaciones Asociadas”, la obra, que demandó un periodo de ejecución de cerca de 5 años y que desde el 26 de julio del presente año ya se encuentra en operación comercial (ISA CTM, 2023). ISA CTM dividió la línea Campas - Carapongo en 2 sectores, por un tema de construcción, el tramo 1 estuvo conformada desde la Subestación Campas hasta la torre T277 y el tramo 2, desde la torre T278 hasta la Subestación Carapongo. Durante la ejecución de la obra del S2 se pudo evidenciar que existió variaciones en la cimentación de las torres, los cuales incidieron en la construcción de la línea de transmisión, cabe mencionar que el proyecto en mención culminó cerca de 2 años más tarde de lo planeado.

La construcción de una línea de transmisión trae consigo diversos desafíos, uno de ellos se relaciona con el diseño de las cimentaciones y es relevante contar con información disponible que contribuya a minimizar las variaciones de la cimentación de las torres.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Interrogante principal

¿Cuáles serán las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?

1.2.2 Interrogantes secundarias

- a) ¿El informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 cumple con los requisitos según la norma técnica E.050?
- b) ¿Cuáles serán los métodos de exploración de suelos usados para la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?
- c) ¿Cuáles serán las variaciones que se presentaron en la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?
- d) ¿Cuáles serán las causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó porque se pretendió determinar las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2; además se busca contribuir al conocimiento científico existente brindando información relevante para que se optimice la ejecución de un proyecto de líneas de transmisión.

El aporte que se brindará servirá para que todas las personas inmersas en este tipo de proyectos tengan conocimiento de la importancia del estudio de mecánica de suelos en los proyectos de líneas de transmisión, y así cuenten con las bases necesarias para justificar la necesidad de contar con un estudio más efectivo para disminuir los cambios de cimentaciones, los sobrecostos y el retraso de obra.

Esta investigación se justifica socialmente dado que al realizar un estudio de suelos a detalle permitirá que se eviten los problemas prediales con los pobladores de la zona y también permitirá ubicar las cimentaciones fuera de las áreas arqueológicas.

La construcción de una línea de transmisión trae consigo diversos desafíos, uno de ellos se relaciona con el diseño de las cimentaciones y es relevante contar con información disponible que contribuya a minimizar las variaciones de la cimentación de las torres.

Por otro lado, los resultados de esta investigación conllevarán a optimizar el tiempo y el dinero, promoviendo la productividad del proyecto; en consecuencia, al contar con un buen estudio de suelos se podrá maximizar el cuidado del medio ambiente.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Determinar las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Verificar el cumplimiento de los requisitos descritos en la norma técnica E.050, en el informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2,
- b) Identificar los métodos de exploración de suelos empleados en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV, S2.
- c) Determinar las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.
- d) Determinar las causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se están considerando los trabajos previos que guarden relación directa o indirecta al tema de investigación.

Zumrawi (2014), realizó un estudio en Sudan sobre la influencia de los datos de investigación geotécnica confiables y factuales en el diseño y construcción de cimientos para estructuras de ingeniería civil; estudió dos proyectos en el estado de Jartum, los resultados reflejaron que el perfil del suelo encontrado en ambos proyectos eran completamente diferente al indicado en el informe; en consecuencia, asevera que esto puede conducir a problemas de diseño y construcción tales como: tener cimientos diseñados inseguros, retrasos en la construcción y costos adicionales.

Leetsaar et al. (2021), realizaron un estudio en donde exploraron la cantidad y los métodos de investigación del suelo en Estonia durante los últimos once años; recopilaron y analizaron datos de investigaciones de sitio de 92 edificios públicos y privados, los resultados indicaron que en Estonia es muy común sobrediseñar las cimentaciones debido a la cantidad mínima de investigaciones geotécnicas de sitio realizadas en una sola etapa, lo cual debería haberse realizado en dos etapas: preliminar y seguida de una investigación detallada; las investigaciones geotécnicas efectivas ayudan a reducir las fallas, las reclamaciones con un diseño insuficiente o con un diseño excesivo.

Seis meses después Afelete & Jung (2021) realizaron un estudio sobre las causas del cambio de diseño según los tipos de proyectos de energía en Ghana, identificaron los factores importantes causantes de los cambios de diseño según los diferentes tipos de proyectos de energía en Ghana, a través de una evaluación exhaustiva de la literatura; el resultado final determinó que los problemas o condiciones imprevistas del sitio están dentro de las 5 causas más importantes. Resaltan que, los problemas de cambio de diseño son inevitables en los proyectos energéticos, como en cualquier otra industria, los cambios de diseño ocurren durante la fase de diseño y la fase de construcción; sin embargo, el impacto de los cambios de diseño en la fase de construcción es más significativo.

Por otro lado, Kagiri & Wainaina (2013) realizaron un estudio en Kenia en donde investigaron los factores que contribuyeron significativamente a los sobrecostos y retrasos en los proyectos de energía implementados por KenGen, el estudio se basó en una encuesta de cuestionario realizada con personas extraídas de contratistas, consultores y KenGen; el análisis de 33 variables significativas de la encuesta reveló ocho factores subyacentes que contribuyen a los excesos de tiempo y costo; aseveran que la capacidad de minimizar el impacto de los sobrecostos dependerá en gran medida de tener una definición adecuada del alcance del proyecto, por ejemplo, se debe asignar tiempo y recursos suficientes para garantizar que se lleve a cabo una investigación de campo adecuada.

Tres años más tarde, Pall et al. (2016) realizaron un estudio en Australia respecto a la revisión integral de atrasos en proyectos de transmisión de energía, en donde buscaron presentar un primer paso para rectificar esta situación; revisaron un total de 74 artículos publicados relacionados con los proyectos de líneas de transmisión para identificar sus posibles causas de retraso, los resultados evidenciaron que existen 82 posibles causas de retraso y una de las causas es la investigación inadecuada antes de finalizar el informe técnico del proyecto.

Luego, Nundwe (2017) realizó un estudio para establecer las causas de los retrasos en la construcción de líneas de transmisión de electricidad en Zambia, por este motivo hizo una revisión exhaustiva de la literatura, entrevistas estructuradas y un cuestionario; los resultados reflejaron que, el 63% de los encuestados indicaron que el informe de investigación de suelo insuficiente también fue una causa de retrasos, este informe se basó en información generalizada que no representaba una impresión real, lo que provocó demoras debido al proceso de rediseño cada vez que se descubrió que los diseños aprobados no podían aplicarse en ciertos puntos de la torre, especialmente en áreas pantanosas.

Además, Pall (2021) realizó una investigación sobre los factores potenciales que contribuyen significativamente a los retrasos en la implementación de proyectos de transmisión de energía en Bangladesh y en todo el mundo; se revisó un total de 74 artículos y también se utilizó un cuestionario de dos etapas para recopilar datos para este estudio; los resultados evidenciaron que los factores

críticos de retraso en proyectos de transmisión de energía son: los factores específicos del sector, los cambios frecuentes en las rutas de las líneas de transmisión y la accesibilidad a las ubicaciones de las torres, en consecuencia aproximadamente el 90% de proyectos experimentaron un retraso de más de tres meses con respecto a la duración original del contrato, más de un 35% sufrieron retrasos de entre seis y 12 meses y el 12,5% se retrasó más de 18 meses.

Por su parte Kim et al. (2018) analizaron los sobrecostos de construcción de proyectos de redes de transmisión en Vietnam; para lo cual hicieron una revisión exhaustiva de la literatura respecto a la realidad durante la fase de construcción, además, se recolectaron datos a través de un cuestionario; el resultado reveló que los atributos que causan los sobrecostos más altos son: incompetencia del director del proyecto, incompetencia de los consultores de supervisión de la construcción y consultores de diseño, tasas de interés inestables y políticas de construcción inestables.

Gil (2018) realizó una investigación en Bogotá sobre la metodología de un estudio geotécnico, identificó los lineamientos y procedimientos utilizado en la ejecución de los estudios geotécnicos realizados por la empresa Simétrica Ingenieros Civiles S.A.S; analizó mediante la normativa nacional vigente si dichos procedimientos realmente eran adecuados para su propósito, los resultados evidenciaron que dicha empresa respondía adecuadamente a los requerimientos mínimos establecidos por la norma, con un cumplimiento de alrededor 80%; sin embargo, se evidenció ciertas falencias con relación a la metodología empleada para la exploración del suelo y los ensayos de laboratorio, los cuales pueden afectar considerablemente la precisión y funcionabilidad de los estudios geotécnicos en cuanto a la predicción del posible comportamiento del suelo ante un evento externo.

En tanto, Ruíz (2018) en su investigación realizada en El Salvador titulado “Soluciones para el diseño y construcción de cimentaciones de torres de transmisión eléctrica de alta tensión”, tuvo por objetivo establecer algunas soluciones para el diseño y construcción de cimentaciones de torres de transmisión eléctrica de alta tensión, concluyendo que para el diseño de una cimentación de una torre de transmisión de alta tensión, es sustancial conocer todos los aspectos mecánicos para

evitar que una o varias torres de la línea de transmisión eléctrica de alta tensión se vayan a arrancar del suelo.

En el Perú, Caycho (2020) realizó una investigación en la ciudad de Lima en donde analizó y diseñó dos tipos de cimentaciones superficiales usadas en torres de transmisión eléctrica basándose en normas internacionales y nacionales aplicadas a la realidad del país; usó softwares para el diseño correspondiente, además de hojas de cálculos, desarrolló el dimensionamiento geotécnico para las principales solicitudes de cargas que llegaron a las cimentaciones de la torre de transmisión, del análisis económico realizado para los dos tipos de fundaciones analizados en este trabajo concluyó que el uso de zapatas aisladas resulta más económico que una losa de cimentación, el costo aproximado es de \$ 3114.95 y \$ 9209.97 respectivamente.

Después de un mes, Chavez & Paz (2020) realizaron una investigación sobre la metodología del diseño geotécnico de las cimentaciones en líneas de transmisión; examinaron los aspectos correspondientes a la exploración de suelos abarcando su reconocimiento y clasificación; esta investigación se llevó a cabo a través de la revisión de libros acerca de Líneas de Transmisión, el Código Nacional de Electricidad Peruano, Artículos de la Asociación de Miembros del Instituto de Ingenieros de Ingeniería Eléctrica, tesis de distintos países, entre otros documentos relacionados, los resultados indicaron que los conceptos mecánicos desempeñan un rol importante en el diseño de las cimentaciones de líneas de transmisión, conceptos como vanos, conductores, tipos de torres, entre otros, afectan de manera directa en el cálculo de los árboles de carga, los cuales brindan el resumen de fuerzas incidentes en la fundación.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 El suelo y su origen

Según Arora (2004), el término “suelo” ha sido definido de diferentes maneras, ya sea que dicha definición provenga del geólogo, del agrónomo o del ingeniero civil. El término suelo en ingeniería de suelos se define como un material no solidificado, compuesto de partículas sólidas, producido por la desintegración de rocas.

Scott (1994) define al suelo como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas.

2.2.1.1 Principales tipos de suelos

Crespo (2004), sostiene que; de acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico. A continuación, se describen los suelos más comunes con los nombres generalmente usado por el ingeniero civil para su identificación:

- a) Gravass: acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Sus partículas varían desde 7.62cm hasta 2.0mm.
- b) Arenas: materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2mm y 0.05 mm de diámetro.
- c) Limos: suelos de granos con poca o ninguna plasticidad, existe limo inorgánico y limo. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05mm y 0.005mm.
- d) Arcillas: partículas solidad con diámetro menor de 0.005mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.
- e) Caliche: ciertos estratos de suelos cuyos granos se encuentra cementados por carbonatos calcáreos.
- f) Loess. sedimentos eólicos uniformes y cohesivos. Esa cohesión que poseen es debida a un cementante del tipo calcáreo y cuyo color es generalmente castaño claro. El diámetro de las partículas de los loess está comprendido entre 0.01mm y 0.05mm.
- g) Diatomita. depósitos de polvo silícico, generalmente de color blanco, compuesto total o parcialmente por residuos de diatomeas.
- h) Gumbo. suelo arcilloso fino, generalmente libre de arena y que parece cerca a la vista; es pegajoso, muy plástico y esponjoso.

- i) Tepetate: material pulverulento, de color café claro o café oscuro, compuesto de arcilla, limo y arena en proporciones variables, con un cementante que puede ser la misma arcilla o el carbonato de calcio.

2.2.1.2 Clasificación de suelos (SUCS)

El sistema unificado de clasificación de suelo fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en 1948.

De acuerdo a Ranjan & Rao (2005), los suelos pueden clasificarse como no cohesivos y cohesivos o como suelo grueso y suelo fino. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 5% de las partículas del mismo son retenidas en la malla N°200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicha malla.

- a) Suelos gruesos: en los suelos gruesos se tiene las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las gravas (G) si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N° 4, y pertenece al grupo de las arenas (S) caso contrario. Tanto las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC) y (SW, SP, SM, SC), respectivamente. El símbolo GW se refiere a las gravas bien graduadas, el símbolo GP indica gravas pobremente graduada o mal graduadas, el símbolo GM indica gravas limosas, GC indica gravas arcillosas. Asimismo, los símbolos SW, SP, SM y SC indican arenas bien graduadas, arenas mal graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas respectivamente.
- b) Suelos finos: en los suelos finos el sistema unificado los considera agrupados en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido menor al 50%, en tres grupos para los limos y arcillas con límite mayor al 50% y en un grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Si el límite líquido del suelo es menor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad baja o media, se añade el sufijo L a los prefijos M, C y O, obteniéndose de este modo los símbolos ML (limos orgánicos de baja compresibilidad), y CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad) y OL (limos orgánicos de baja compresibilidad). Si el límite

liquido es mayor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad alta, se añade el sufijo H a los prefijos M, C y O, obteniéndose si los símbolos MH (limos orgánicos de alta compresibilidad), CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad) y OH (arcillas orgánicas de alta compresibilidad).

2.2.1.3 Métodos de exploración de suelos

De acuerdo a ciertos autores se cuenta con métodos indirectos, semidirectos y directos.

Según Budhu (2011), los métodos indirectos o métodos geofísicos son métodos no destructivos utilizadas para proporcionar información espacial sobre suelos, rocas y condiciones hidrológicas y ambientales; los métodos populares son:

- a) Radar de penetración terrestre (GPR) GPR, también llamado georadar, es una técnica de ondas electromagnéticas de alta resolución y alta frecuencia (10 MHz a 1000 MHz) para obtener imágenes de suelos y estructuras terrestres.
- b) Estudios sísmicos: mediante la interpretación de resultados, se pueden deducir propiedades mecánicas y la distribución de los materiales en el subsuelo, empleando las velocidades de las ondas de compresión y de corte que se transmiten a través de los materiales en el subsuelo. El método de refracción sísmica se utiliza para determinar la profundidad y espesor del perfil del suelo y la existencia de estructuras enterradas.
- c) Resistividad eléctrica: las mediciones de resistividad eléctrica se pueden usar para identificar y cuantificar la profundidad del agua subterránea, detectar arcillas y medir la conductividad del agua subterránea. La resistividad del suelo, medida en ohm-centímetros (ohm-cm), varía con el contenido de humedad y los cambios de temperatura.

Rodríguez (2011) afirma que los métodos semidirectos consisten en realizar pruebas de campo para estimar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, a partir de correlaciones empíricas; los principales métodos de exploración semidirectos son:

- a) Ensayo de penetración estándar: este método se emplea en suelos finos, en arenas finas y medias, en mezclas de finos y arenas. Se realiza de manera

continua con muestreo alterado ó en forma conjunta con muestreo inalterado (sondeos mixtos).

- b) Método del Cono: esta prueba se utiliza en suelos blandos con espesores mayores de 10m, en suelos arenosos y en arcillas de origen lacustres.

Por otro lado, los métodos directo son los métodos que frecuentemente desarrolla el ingeniero de suelo para auscultar en forma directa en el sitio el subsuelo donde se pretende construir una obra civil o el estudio de su entorno; se tiene los siguientes métodos:

- a) Excavación de pozos a cielo abierto: los pozos se excavan con el fin de tomar muestras de cada estrato, para observar y levantar el perfil estratigráfico de sus paredes.
- b) Sondeos con equipo de exploración: estos sondeos se deben realizar en suelos donde el equipo de Sondeos de Penetración Estándar (SPT) no es el adecuado, como en el caso de suelos muy duros ó rocosos, y para su uso se requiere emplear equipo de perforación rotaria y herramientas especializadas para la exploración y para obtener muestras alteradas e inalteradas a diversas profundidades.

2.2.2 Mecánica de suelos

Terzaghi et al. (1996) definen a la mecánica de suelos como la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a problemas de ingeniería relacionados con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración mecánica y química de las rocas, independientemente de que contengan o no una mezcla de constituyentes orgánicos. Es más, Verruijt (2018) sostiene que la mecánica de suelos es la ciencia del equilibrio y el movimiento de los cuerpos del suelo

2.2.2.1 Estudio de Mecánica de Suelos

Según Diallo (2020), el estudio de mecánica de suelos es un documento firmado por un especialista reconocido y acreditado en mecánica de suelos, determina la resistencia del suelo sobre el que se asientan las edificaciones, lo que sirve de base para determinar el tipo de cimentación a utilizar; el estudio de suelos o estudio geotécnico forma parte de la mecánica de suelos. El estudio del suelo

permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su composición estratigráfica, es decir, las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad, y por una ubicación específica de los niveles freáticos (freáticos) si los hubiere. El estudio de la mecánica de suelos generalmente consta de tres etapas: Exploración y pruebas de campo, Pruebas de laboratorio y elaboración de informes; a través del ello permite evaluar la idoneidad general del sitio para el proyecto propuesto, permite realizar un diseño adecuado y económico, además de que puede revelar y prever las dificultades que puedan surgir durante la construcción debido al terreno y otras condiciones locales.

2.2.2.2 Propósito de la investigación del suelo

El propósito de la investigación del suelo es determinar las propiedades de ingeniería de los suelos en el sitio, los datos del suelo se utilizan para predecir el comportamiento de la cimentación y minimizar las incertidumbres en el diseño de cimientos (Stewart, 2021).

2.2.2.3 Importancia de la investigación de Suelos

La importancia de la investigación de suelos radica en que se pueden diseñar cimientos técnicamente adecuados y económicos. Por ejemplo, al definir la profundidad de cimentación, se logra el volumen mínimo de excavación y hormigón. Si no hay un estudio de suelos, el ingeniero decide ubicar la cimentación a mayor profundidad por la incertidumbre del suelo o de lo contrario puede considerar una profundidad que no sea la requerida generando a futuro asentamientos excesivos que dañen la estructura (Hong et al., 2001). En consecuencia Akhtar (2012) argumenta que el campo de la mecánica de suelos es muy amplio y su profundo conocimiento y clara comprensión es un requisito previo para predecir su comportamiento en lo que respecta a la seguridad de las estructuras y la caracterización de las condiciones del suelo subterráneo es un paso fundamental para el éxito del diseño

2.2.2.4 Fases de una investigación de suelos

Budhu (2011) sostiene que el alcance de una investigación de suelos depende del tipo, tamaño e importancia de la estructura, el cliente, la familiaridad del ingeniero con los suelos del sitio y los códigos de construcción locales, una

investigación de suelos tiene tres componentes: el primer componente se realiza antes del diseño, el segundo componente se realiza durante el proceso de diseño y el tercer componente se realiza durante la construcción, el segundo y tercer componente son necesarios para contingencias y el primer componente es generalmente más extenso y se lleva a cabo en fases.

- a) Fase I. Implica la recopilación de información disponible, como un plano del sitio; tipo, tamaño e importancia de la estructura; condiciones de carga; informes geotécnicos anteriores; mapas, incluidos mapas topográficos, fotografías aéreas, fotografías, imágenes satelitales y mapas geológicos; y recortes de periódicos.
- b) Fase II. Reconocimiento preliminar o una visita al sitio para proporcionar una imagen general de la topografía y la geología del sitio.
- c) Fase III. Exploración detallada de suelos. Los objetivos de una exploración detallada de suelos son: determinar la estructura geológica, que debe incluir el espesor, secuencia y extensión de los estratos del suelo, determinar las condiciones de las aguas subterráneas para obtener muestras alteradas e inalteradas para los ensayos laboratorio.
- d) Fase IV. Ensayo de laboratorio. Los objetivos de las pruebas de laboratorio son: clasificar los suelos, determinar la resistencia del suelo, las tensiones y deformaciones de falla, la respuesta tensión-deformación, la permeabilidad, la compactibilidad y los parámetros de asentamiento. No todos estos pueden ser necesarios para un proyecto.
- e) Fase V. Redacción de un informe. El informe debe contener una descripción clara de los suelos del sitio, los métodos de exploración, la estratigrafía del suelo, los métodos y resultados de las pruebas in situ y de laboratorio, y la ubicación de las aguas subterráneas. Debe incluir información y/o explicaciones de cualquier suelo inusual, estrato que contenga agua y cualquier condición del suelo y del agua subterránea, como la susceptibilidad a las heladas o las áreas anegadas que puedan ser problemáticas durante la construcción.

2.2.4 Línea eléctrica

La línea eléctrica es el medio físico bajo el que se realiza la transmisión y distribución de energía eléctrica, los elementos que la componen varían desde conductores, estructuras de soporte, aisladores hasta accesorios de ajuste, y cables de guarda (Bustillos & Pérez, 2015).

2.2.4.1 Clasificación de las líneas eléctricas

Bustillos & Pérez (2015) clasifican a las líneas eléctricas en líneas de transmisión y líneas de distribución. Las líneas de transmisión son aquellas que se utilizan para transportar la energía eléctrica a grandes distancias, a niveles de voltajes superiores a los 34.500v; en tanto, las líneas de distribución son aquellas que van desde las subestaciones hasta los centros de consumo como son las industrias, domicilios y alumbrado público, los niveles de tensión utilizados son por debajo de los 34.500v.

2.2.4.2 Tipologías de líneas eléctricas según su tensión

De acuerdo con Villa (2021), las líneas de eléctricas se dividen en líneas eléctricas de Baja Tensión (tensión nominal \leq a 1.000 voltios), líneas eléctricas de Media Tensión (tensión nominal $>$ a 1.000 voltios y pueden llegar a los 36.000 voltios) y líneas eléctricas de Alta Tensión. Las líneas de alta tensión se subdividen en 4 categorías: categoría especial (tensión nominal \geq 220 kV), primera categoría ($66 \text{ kV} < \text{tensión nominal} < \text{a } 220 \text{ kV}$), segunda categoría ($30 \text{ KV} < \text{tensión nominal} \leq \text{a } 66 \text{ KV}$) y tercera categoría ($1 \text{ kV} < \text{tensión nominal} \leq \text{a } 30 \text{ kV}$).

2.2.4.3 Características de una línea de transmisión

Una línea de transmisión eléctrica está compuesta básicamente por líneas eléctricas aéreas, estructuras de torre de celosía de acero y cimientos; las torres tienen características mecánicas particulares, estas características están influenciadas, por la topografía del terreno a lo largo de la línea de transmisión, las condiciones climáticas del país, los requerimientos específicos de cada proyecto, además de las características mecánicas de los cables conductores y de guarda (Ruíz, 2018).

2.2.4.4 Torres de líneas de transmisión

Las torres de líneas de transmisión son estructuras exclusivamente altas, debido al nivel de energía eléctrica o voltaje que transmite, la altura de la torre es mayor que el ancho; su propósito es soportar el conductor que transporta energía eléctrica y uno o dos cables de tierra a una distancia adecuada del nivel del suelo y a una distancia adecuada entre sí (Ranjan, 2006).

De acuerdo a Rajalakshmi et al. (2018), las torres se dividen en tres tipos; en primer lugar tenemos a la torre tipo tangente/suspensión que no soporta ninguna carga y se proporciona solo para sujetar el conductor y el cable de tierra, se utiliza a lo largo de la línea de transmisión donde la línea tiene un ángulo de desviación de $0 - 2^\circ$; en segundo lugar tenemos la torre de ángulo o tensión la cual toma cargas de tensión y se utiliza principalmente para puntos de giro y para ubicaciones de aislamiento de secciones, se pueden dividir en dos categorías: torres por ángulo de desviación de 2° a 30° y torres por ángulo de desviación de 30° a 89° ; finalmente tenemos a la torre de transposición que se utilizan para transponer los conductores de la línea trifásica, el propósito básico de la transposición de la línea de transmisión es rotar los conductores, lo que hace que el conductor o una fase se muevan a la siguiente ubicación física en una secuencia regular.

2.2.4.5 Cimentaciones para estructuras de líneas de transmisión

En las torres de líneas de transmisión, la cimentación juega un papel importante en la seguridad y el desempeño satisfactorio de la estructura, dado que transmite la carga de la estructura a la tierra (Bade et al., 2016). Los cimientos generalmente se instalan en las cuatro esquinas de la estructura de la torre (Kyung et al., 2015).

Existen varios tipos de cimentaciones para las estructuras de las líneas de transmisión como por ejemplo cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas y en casos de postes deberán de emplearse pilas de cimentación. Las cimentaciones de las torres varían también a las características del diseño y construcción de la línea y de los esfuerzos transmitidos por la estructura a la cimentación, así como en función del tipo de suelo en donde se encuentre la estructura (Ruíz, 2018).

ISA (2018) describe cada una de las cimentaciones factibles a diseñar, las mismas que se detallan a continuación:

- a) Parrilla metálica en suelo y roca: este tipo de fundación se proyecta en sitios donde existen depósitos de suelo con profundidades mayores a la profundidad de la cimentación de la estructura o en roca cuyo nivel de fracturamiento permita la excavación por medios manuales o con equipo liviano.
- b) Zapata Convencional en Concreto: su uso está condicionado a lugares que, debido a condiciones de capacidad portante admisible, pH, resistividad, sumergencia o perfiles diagonales no permitan el uso de parrillas. Esta cimentación se proyecta en sitios donde existen depósitos de suelo con profundidades mayores a la profundidad de la cimentación de la estructura o en roca cuyo nivel de fracturamiento permita la excavación por medios manuales o con equipo liviano.
- c) Zapata Superficial con Micropilotes en Suelo o Roca: se usa cuando el suelo competente o macizo rocoso se encuentra en la superficie del terreno o muy cerca de ella.
- d) Pilastra en Concreto: se usa en sitios de torre donde exista una capa de suelos (con espesores máximos del orden de 1.0 metros) bajo la cual se encuentre el macizo rocoso.
- e) Pila en Suelo con o sin campana: este tipo de cimentación es utilizada en suelos en terrenos a media ladera o donde existan restricciones de espacio para la excavación.
- f) Cimentaciones especiales: este tipo de cimentación la mayoría de las veces debe ser profunda debido al suelo no competente presente cerca de la superficie del terreno (suelos blandos, suelos colapsables, suelos licuables o sectores con riesgo de socavación), por lo tanto, se propone zapata a nivel de superficie con grupo de pilotes, los cuales se deben hincar o preexcavar hasta la profundidad requerida. Otra solución que puede ser usada en suelos con capacidad portante admisible menor a 0.50 kg/cm^2 es la platea, la cual es una placa de cimentación para las cuatro patas de la torre.

2.2.5 Capacidad de carga última

De acuerdo a Das (2011), la capacidad de carga última es la carga por área unitaria de la cimentación a la que ocurre la falla por corte en un suelo. De acuerdo a Terzaghi expresó la capacidad de carga última en las siguientes formulas:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (\text{Cimentación continua o corrida})$$

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (\text{Cimentación circular})$$

Donde:

c' = cohesión del suelo

γ = peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo ϕ'

El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de las cimentaciones superficiales requiere aplicar un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última bruta,

$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS}$$

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

2.3.1 Variación

Cambio o alteración que hace que algo o alguien sea diferente, en algún aspecto, de lo que antes era (Oxford, 2022).

2.3.2 Suelo

El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta con líquido y gas en los espacios vacíos entre las Partículas sólidas (Das, 2013).

2.3.3 Torre eléctrica

Una Torre eléctrica es una estructura de gran altura, normalmente construida en celosía de acero (International Finance Corporation, 2007)

2.3.4 Cimentación

La cimentación es la parte de un edificio (subestructura) cuya función es transmitir directamente al suelo las fuerzas que actúan en ella (García & Lucas, 2018).

2.3.5 Tiempo

Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento (Oxford, 2022).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 HIPÓTESIS

La presente investigación no cuenta con hipótesis por ser una investigación descriptiva.

3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.2.1 Identificación de la variable

Variación de la cimentación

5.2.1.1 Indicadores

Resumen de las condiciones de cimentación: Sí/No

Información previa: Sí/No

Exploración de campo: Sí/No

Ensayos de laboratorio: Sí/No

Perfil del suelo: Sí/No

Nivel de napa freática: Sí/No

Análisis de la cimentación: Sí/No

Efecto del sismo: Sí/No

Parámetros para el diseño y construcción de obras de sostenimiento: Sí/No

Análisis adicionales: Sí/No

Plano de ubicación de los puntos de exploración: Sí/No

Perfil estratigráfico por punto explorado: Sí/No

Resultados de los ensayos de laboratorio: Sí/No

Método indirecto (Refracción sísmica): 0-100%

Método semidirecto (Ensayo de penetración estándar): 0-100%

Métodos directo (apique-barreno): 0-100%

Variación en la altura que sobresale el pedestal: 0-100%

Variación en la geometría de la cimentación: 0-100%

Variación en el tipo de cimentación: 0-100%

Criterios de plantillado/Topografía de terreno: 0-100%

Cambio de extensión de patas: 0-100%

Cambio de ubicación de la torre: 0-100%

Tipo de suelo: 0-100%

5.2.1.2 Escala para la medición de la variable

Nominal y Razón

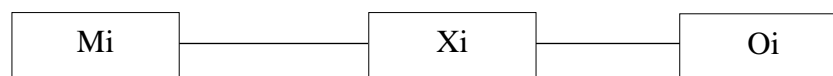
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a su propósito es una investigación básica, dado que los resultados encontrados son un aporte al conocimiento existe (Hernández et al., 2014)

3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo, este tipo de investigación consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos; detallando cómo son y cómo se manifiestan, buscando especificar las propiedades, las características y los perfiles de cualquier fenómeno que se someta a un análisis sin indicar cómo se relacionan (Hernández et al., 2014).

Se consideró el siguiente esquema:



Mi: Muestra (Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2)

Xi: Variable (Variación de la cimentación)

Oi: Resultados

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental, esto quiere decir que no se manipuló la variable solo se observó el fenómeno tal como se dio en su contexto natural; la recolección de los datos tienen un corte transeccional, lo cual implicó realizarlo en un determinado tiempo (Hernández et al., 2014).

3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2; tiene las siguientes características técnicas: configuración en simple terna, nivel de tensión 500kV, potencia 1400MVA, tipo de conductor usado ACAR (4 conductores/fase) y longitud de línea de 82.16 kilómetros. Se ubica en el departamento de Lima y cruza 2 provincias: la provincia de Huarochirí (distritos de Chicla, San Mateo,

Matucana, San Jerónimo de Surco, San Mateo de Otao, Callahuanca y Santa Eulalia) y la provincia de Lima (distrito de Lurigancho); el tramo de línea denominado sector 2 (S2) inicia desde la torre T278 (Este: 368589.957 - Norte: 8703913.94) y finaliza en el Pórtico de la Subestación Carapongo (Este: 297374.93 - Norte: 8675596.34). La construcción de esta línea en 500kV finalizó en el presente año 2023.

3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1 Unidad de estudio

La unidad de estudio es la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, este sector de línea cuenta con 163 torres, con una longitud de 82.16 kilómetros de línea.

3.7.2 Población

La población para esta investigación es el proyecto Línea de Transmisión Campas - Carapongo a 500kV, la cual cuenta con 447 torres, con una longitud de 210.61 kilómetros de línea.

3.7.3 Muestra

La muestra es de carácter intencional no probabilístico y está conformada por la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, este sector de línea cuenta con 163 torres, con una longitud de 82.16 kilómetros de línea.

3.8 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.8.1 Procedimiento

Teniendo delimitado el área de estudio, se recopiló la información necesaria para esta investigación, por consiguiente se procedió a verificar el cumplimiento de los requisitos descritos en la norma técnica E.050, en el informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - Sector, a través de una ficha técnica; luego se establecieron los métodos de exploración de suelos usados en el estudio de mecánica de suelo de la línea en estudio; después de esto, se procedió a determinar el porcentaje de variación de las cimentaciones de las torres y las causas de dichas variaciones, para ello se revisó la documentación relevante tales como planos, planillas, tabla de torres inicial y final.

Los datos se procesaron con la ayuda del Excel, se hizo el análisis y la interpretación de los datos mediante tablas de frecuencia y figuras.

3.8.2 Técnicas

Análisis documental: se empleó esta técnica debido a que se revisaron todos los documentos concernientes al tema de investigación, tales como el informe de estudio de suelos, planillas, planos y la tabla de torres.

3.8.3 Instrumentos

Fichas técnicas: se usó una ficha técnica, documento en donde se registraron los datos requeridos después de realizar la revisión de la documentación concerniente.

Ficha de registro de datos: se usaron fichas de registros, los cuales facilitaron el registro de la información recopilada referente a la línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV- S2.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

Esta investigación consta de un estudio documental; por ende, se realizó un estudio en gabinete. Para realizar el trabajo en gabinete se recopiló la información necesaria de la obra, la cual se usó netamente con fines de investigación; se inició con la revisión de los documentos técnicos elaborados por la División de Supervisión de Electricidad tales como el documento titulado: Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica (del año 2021 y 2022) y el documento titulado: Supervisión de contratos de centrales de generación y líneas de transmisión de energía eléctrica en operación (del año 2023); se revisó el archivo KMZ del trazo de la línea con la ubicación de las estructuras y el informe de estudio de suelos de la Línea Campas - Carapongo a 500kV (aprobada el 04 de mayo de 2020). Además, se revisaron las tablas de torres, la tabla de peso de estructuras, los planos de cimentaciones, las planillas de torres de obras civiles y los protocolos de las torres; cabe mencionar que, el reporte de los resultados de las variaciones de la cimentación de las torres está en base a la tabla de torres aprobada el 07 de agosto del 2020 y la tabla de torres actualizada al 29 de diciembre del 2021 de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados serán presentados en función a los objetivos específicos y a los indicadores; se acuerdo al siguiente orden:

Tabla 1

Orden de Presentación de Resultados

1º Requisitos de la norma técnica E.050

2º Métodos de exploración de suelos

3º Variaciones en la cimentación

4º Causas de variación de la cimentación

Nota. Elaborado en base a la ficha de recolección de datos.

4.3 RESULTADOS

En el proceso constructivo de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, se aplicaron diferentes tipos de cimentaciones de acuerdo a las ubicaciones de las torres según el polígono de clasificación de suelos obtenidos en el estudio de suelos teniendo en cuenta el tipo de estructuras como son estructuras tipo suspensión (tipo A y AA) y anclaje (Tipo B, C y D). Las cimentaciones aplicadas en las torres de la línea mencionada fueron: zapata, pila recta, pilastras y parrillas.

En la siguiente tabla se describen las características de una muestra de las cimentaciones aplicadas en el proyecto.

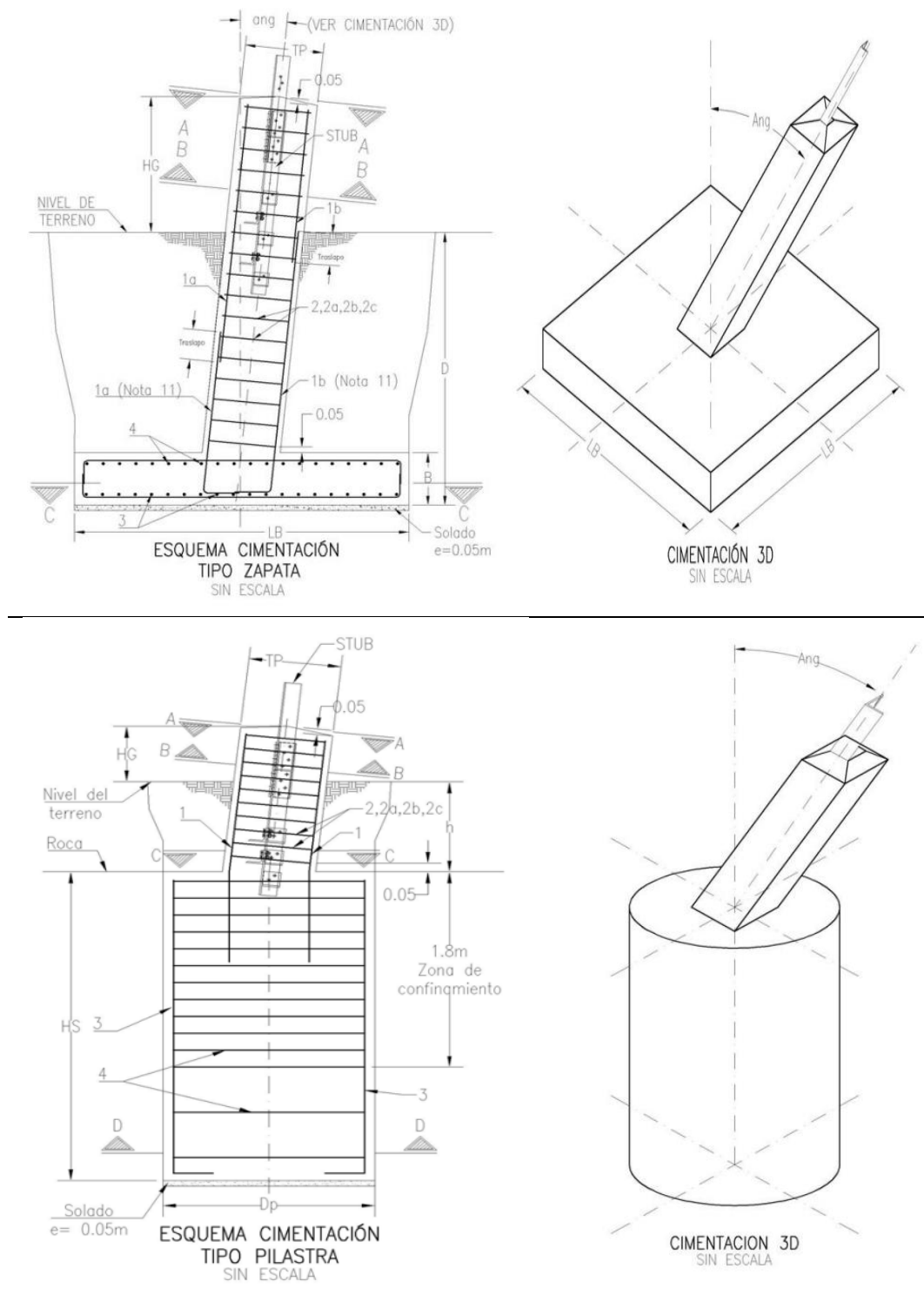
Tabla 2

Descripción geométrica de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

Tipo de torre	Cuerpo de torre	Peso de estructura	Tipo de cimentación	Descripción	Medidas (m)
Suspensión	A4	14.79 Ton	Zapata (2 kg/cm ²)	Desplante de la zapata	1.75
				Ancho de la zapata	2.7
				Espesor de la zapata	0.4
Suspensión	A6	28.97 Ton	Pilastra tipo I (RQD 50-75%)	Profundidad de suelo no competente	0.5
				Profundidad de pila	1.8
				Diámetro de la pila	1.3
Suspensión	A5	26.82 Ton	Pilastra tipo II (RQD 25-50%)	Profundidad de suelo no competente	0.5
				Profundidad de pila	1.8
				Diámetro de la pila	1.5
Suspensión reforzada	AA6	21.31 Ton	Pilastra tipo III (RQD <25%)	Profundidad de suelo no competente	0.5
				Profundidad de pila	2
				Diámetro de la pila	1.6

Figura 1

Esquema de cimentaciones tipo zapata y pilastra utilizada en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.



4.3.1 Requisitos de la norma técnica E.050

Para el proceso constructivo de una línea de transmisión; se requiere desarrollar la ingeniería de diseño de fundaciones para los diferentes tipos de torres que se tienen consideradas para el proyecto, para lo cual es indispensable contar con el informe de estudio de suelos, el cual debe cumplir con los requisitos descritos en la norma técnica E.050 Suelos y cimentaciones 2018.

Tabla 3

Requisitos de la norma técnica E.050 considerados en el informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

	Criterios	Sí	No
1	Resumen de las condiciones de cimentación	✓	
2	Información previa		
3	Exploración de campo	✓	
4	Ensayos de laboratorio	✓	
5	Perfil del suelo	✓	
6	Nivel de napa freática	✓	
7	Análisis de la cimentación		✓
8	Efecto del sismo	✓	
9	Parámetros para el diseño y construcción de obras de sostenimiento		✓
10	Análisis adicionales	✓	
11	Plano de ubicación de los puntos de exploración	✓	
12	Perfil estratigráfico por punto explorado	✓	
13	Resultados de los ensayos de laboratorio	✓	

Nota. Elaborado en base a la ficha técnica.

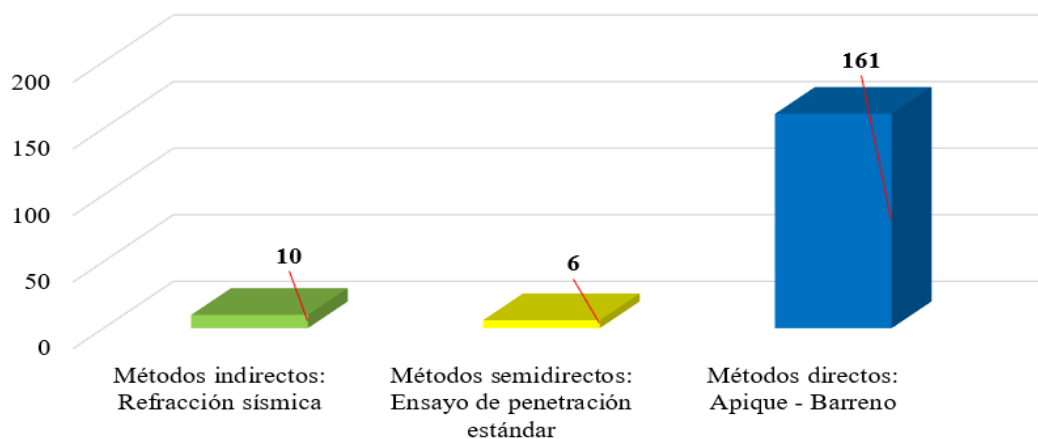
De la tabla 4 se observa que, el informe de estudio de suelos realizado de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 está alineado a 11 de los 13 requisitos descritos en la norma técnica E.050 Suelos y cimentaciones 2018. El estudio de suelos se realizó con el fin de conocer las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno; información que fue necesaria para la definición de la cimentación de las torres en el proceso de desarrollo del diseño de cimentaciones en la etapa de ingeniería del proyecto.

4.3.2 Métodos de exploración de suelos

En cumplimiento a lo descrito en el Reglamento Nacional de Edificaciones se aplicó el ensayo de penetración estándar (método semidirecto) con profundidad máxima de 4.5 metros; y según el documento interno de la concesionaria Interconexión Eléctrica S.A., se realizaron los siguientes métodos de exploración de suelos: refracción sísmica (método indirecto) alcanzando profundidades del orden de 15 metros; y apique-barreno (método directo) con profundidad entre 2 y 5 metros. Se tuvo la particularidad que, por no contar oportunamente con los permisos de ingreso a predios, no se realizó el ensayo programado en 2 torres (T297A y T298A) de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2. A continuación, se detallan las cantidades de exploraciones realizadas de acuerdo a los métodos empleados.

Figura 2

Métodos de exploración de suelos usados en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV, S2.



Nota. Elaborado en base a la ficha de registro.

De la figura 1 se observa que, según el estudio de mecánica de suelos, de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, se emplearon los 3 métodos de exploración de suelos; Método indirecto, método semidirecto y el método directo. Se realizaron 161 Apiques-barreno (método directo), 10 refracciones sísmicas (método indirecto) y 6 ensayos de penetración estándar (método semidirecto).

4.3.3 Variaciones de la cimentación

La cimentación juega un papel importante en un proyecto de líneas de transmisión eléctrica; dado que, estos deben garantizar la estabilidad contra los esfuerzos al cual estará sometida la torre en un determinado lugar geográfico del trazo poligonal del proyecto de línea de transmisión. Durante el proceso constructivo de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 se ha presentado 3 tipos de variaciones de la cimentación de las torres tales como se detalla a continuación: variación en la altura que sobresale el pedestal (cambió la altura que sobresale el pedestal y por ende se profundizó la cimentación), variación en la geometría del pedestal (cambió la altura que sobresale el pedestal y las dimensiones de la cimentación) y variación en el tipo de cimentación (Por ejemplo, de Pilastra a Zapata).

En la siguiente tabla se presenta una muestra de las variaciones mencionadas líneas arriba.

Tabla 4

Muestra por cada variación que se presentó en la cimentación de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

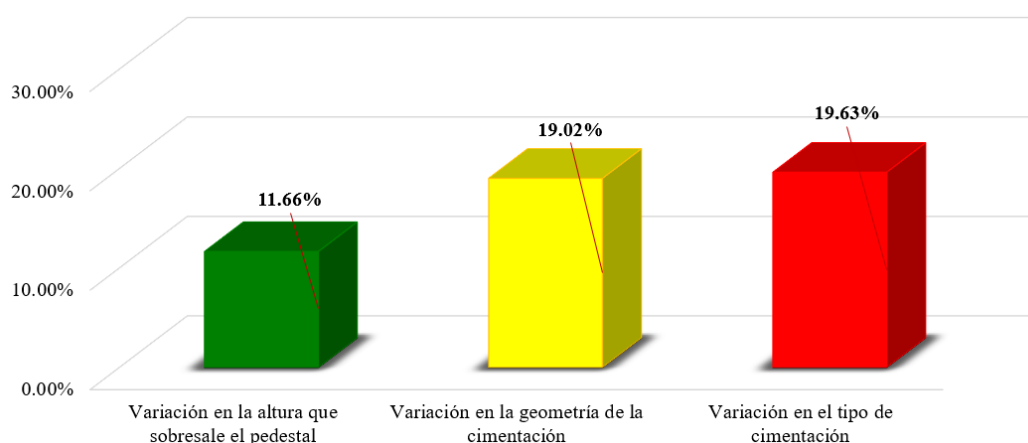
Datos	Patás	Variación en la altura que sobresale el pedestal		Variación en la geometría de la cimentación		Variación en el tipo de cimentación	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura que sobresale el pedestal	A	7.00	7.00	3.00	5.00	0.75	1.25
	B	1.25	2.00	2.00	5.00	0.75	0.75
	C	0.25	1.25	0.75	5.00	1.25	2.00
	D	0.75	1.25	2.00	2.00	0.25	0.75
Tipo de cimentación	A	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
	B	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
	C	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
	D	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
Planos de cimentación (PE-COYA-00401-L-00-)	A	K4110	K4110	K3191	K3196	K2222	K2283
	B	K4110	K4110	K3186	K3196	K2222	K2283
	C	K4110	K4110	K3186	K3196	K2222	K2283
	D	K4110	K4110	K3186	K3186	K2222	K2283

Nota. Elaborado en base a la ficha de registro.

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de las torres que presentaron variaciones en su cimentación, de acuerdo a los 3 tipos de variaciones identificados, en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

Figura 3

Variaciones de la cimentación de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.



Nota. Elaborado en base a la ficha de registro.

De la figura 2 se observa que, el 19.63% de torres presentaron variación en el tipo de cimentación, el 19.02% de torres presentaron variación en la geometría de la cimentación y el 11.66% de torres presentaron variación en la altura que sobresale el pedestal. Se tuvo un aculado de 50.31% de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 que presentaron variaciones en la cimentación.

A continuación, se muestra los cálculos justificativos realizados para la estructura T368 (Torre de Suspensión de 5 cuerpos), para determinar la capacidad admisible en las patas A y B, que no cuentan con el mismo tipo de suelo de acuerdo a la planilla inicial:

▪ **Datos de Entrada**

Parámetro	Unidad	Pata de Torre	A	B
Qreq	[Ton-f]	Solicitud de carga axial a compresión	68	68
Treq	[Ton-f]	Solicitud de carga axial a tensión	55.8	55.8
RQDcampo	[%]	RQD medido en campo.	55	10
HCompetente	[m]	Profundidad a la cual se encuentra roca	0.5	0.5
		Tipo de Terreno.	I	III
Lp	[m]	Longitud de la Pilastra.	1.9	2.2
		Pedestal enterrado	0.75	1
Ds	[m]	Diámetro de la Pilastra.	1.8	1.6
RQDdiseño	[%]	Rango de RQD para diseño.	50-75	<25
σ_{NA}	[Ton-f/m ²]	Esfuerzo neto admisible a compresión.	690	240
γ_{roca}	[Ton-f/m ³]	Peso unitario Total del material de fundación.	2	1.8
τ_A	[Ton-f/m ²]	Esfuerzo de fricción admisible entre cimient y roca.	21	11.3
$\gamma_{Cimiento}$	[Ton-f/m ³]	Peso unitario Total del concreto reforzado.	2.4	2.4
WCimiento	[Ton-f]	Peso Total del Cimiento.	11.6	15.4
FSc	Adimensional	Factor de seguridad carga axial a compresión.	3	3
FSt	Adimensional	Factor de seguridad carga axial a tensión.	1.5	1.5

▪ **Capacidad Portante Pilastra en roca fracturada**

- *Capacidad de carga por punta*

Ac	[m ²]	Área transversal de la Pilastra.	2.54	2
Qp	[Ton-f]	Carga Tomada por la punta del cimiento.	1756	480

- *Capacidad de carga por fuste*

Ap	m ²	Área perimetral de la Pilastra.	10.7	16
Qst	Ton-f	Fuerza por fricción en la totalidad del pilote.	225.6	181

- *Capacidad portante admisible*

Carga última	[Ton-f]	$Q_u = Q_p + Q_{st} - W$	1970	645
F.S	Adimensional	Factor de seguridad carga axial a compresión.	3	3
Qadm	[Ton-f]	Capacidad portante admisible de la pilastra.	656.6	215

- *Resistencia a la Tensión Pilastra en roca fracturada*

Ap	[m ²]	Área perimetral de la Pilastra	10.7	16
Qst	[Ton-f]	Fuerza por fricción en la totalidad del pilote	225.6	181
Tultima	[Ton-f]	Tu=Qst+W	237.2	196
F.S	Adimensional	Factor de seguridad carga axial a tensión.	1.5	1.5
Tadm	[Ton-f]	Capacidad admisible a tensión	158.2	131

- *Verificación al volcamiento*

F.S	Adimen		1.5	1.5
Freq	[Ton-f]	Solicitud de carga lateral	19.2	19.2
Ka	-	Carga lateral admisible	0.2	0.3
Kp	-	Carga lateral admisible	4.6	4
Mvolc	Ton-m	Momentos de Vuelco	120.3	154
Mest	Ton-m	Momentos de Estabilización	175.6	207

De los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- En la Pata A, se cambia solo la altura que sobresale el pedestal de 1.25 a 2m, puesto que de acuerdo el análisis realizado se requiere sobre enterrar 0.75m del pedestal.
- En la Pata B, se modifica las dimensiones de la pilastra de 1.8m x 1.9m a 1.60m x 2.20m. Además, se cambia la altura que sobresale el pedestal de 2 a 3m, puesto que se requiere sobre enterrar 1m del pedestal.

4.3.4 Causas de variación en la cimentación

La variación de la cimentación de las torres se debe a diversas causas las cuales son comunes en el proceso constructivo de una línea de transmisión en el Perú, como consecuencia de la combinación de zonas geográfica que se presentan a lo largo del trazo poligonal. En la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, durante el proceso constructivo se identificaron diversas causas que conllevaron a tener variaciones en la cimentación de las torres, como se menciona a continuación:

- Criterios de Plantillado / Topografía del terreno: durante el proceso de replanteo se tuvo como necesidad de proyecto la definición inmediata de las extensiones de

patas de las estructuras en terrenos desnivelados, por lo que una forma rápida de definir es plantillando solo con las medidas del pedestal de la cimentación según el tipo de suelo. En el proceso de replanteo debido a los márgenes de precisión de los equipos que se utilizan como estación total, se presentó ligeras variaciones en el perfil de terreno lo que llevó a incrementar o disminuir el afloramiento inicialmente considerado. En los terrenos desnivelados se presentó riesgos de proximidad de la fundación hacia taludes, por lo que fue necesario realizar el plantillado con las medidas reales de la fundación (ver Figura 3).

- Cambio de extensión de patas: se cambió la extensión de pata por facilidad constructiva del proyecto, debido a la necesidad del sector 1.
- Cambio de ubicación de la torre: se reubicaron las torres por encontrarse inicialmente en terreno inestable. Además, se reubicó una torre por un caso fortuito, donde la cota inicial fue modificada 20m abajo debido a corte de terreno para una cantera.
- Tipo de suelo: durante el proceso constructivo se identificó un tipo de suelo diferente a lo definido en la planilla inicial de excavación de fundaciones; por lo cual, se actualiza la cimentación de acuerdo al tipo de suelo encontrado.

En la tabla 6 se presenta una muestra por cada causa que generó cambios en la cimentación de las torres, las cuales fueron detallados en el ítem 4.3.3.

Figura 4

Esquemas de plantillado de patas (secciones diagonales) y estimación de afloramiento de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

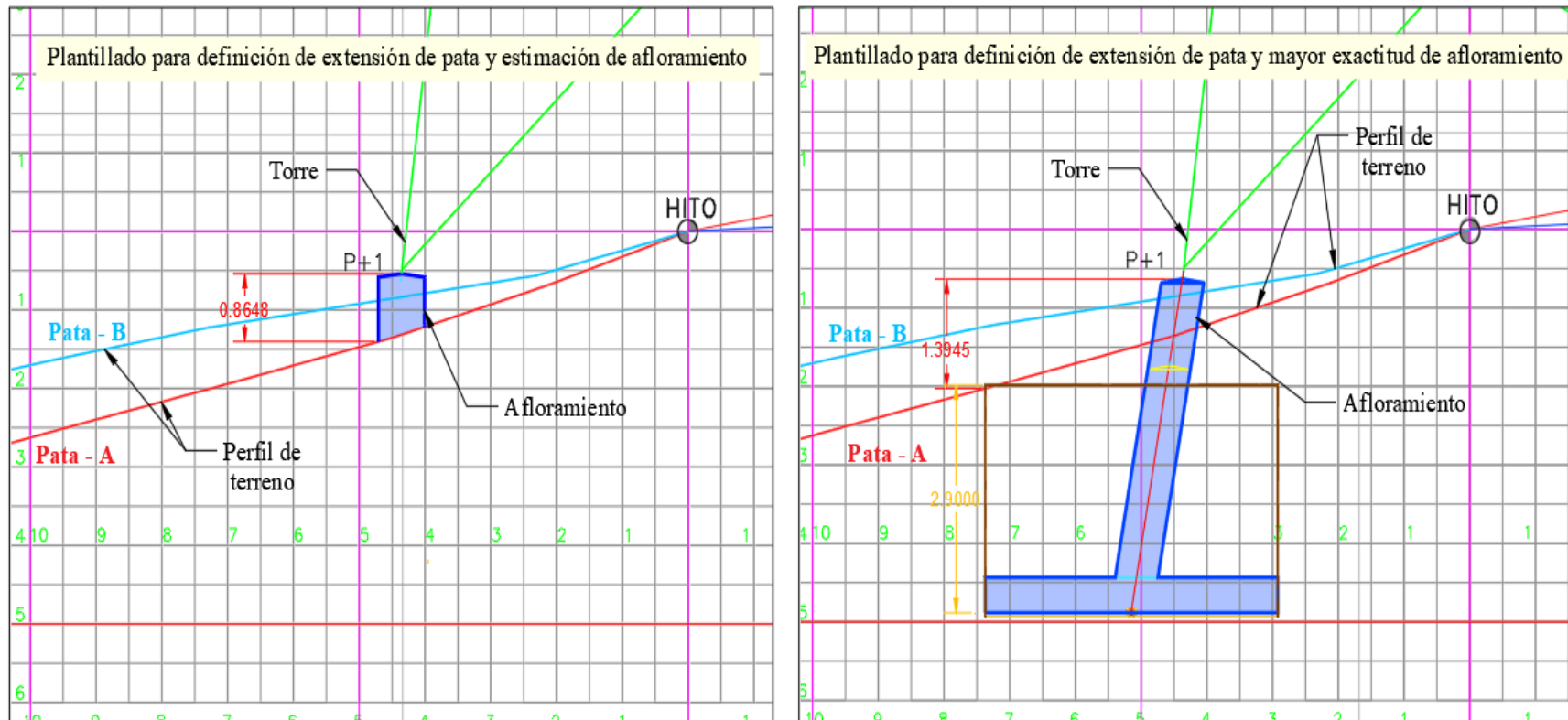


Tabla 5

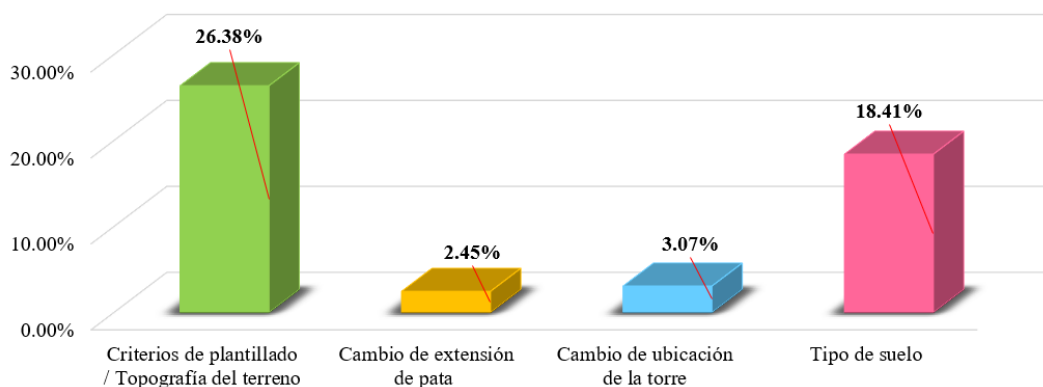
Muestra por cada causa que generó variación de la cimentación de las torres en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.

Descripción	Criterios de plantillado / Topografía del terreno		Cambio de extensión de pata		Cambio de ubicación de la torre		Tipo de suelo		
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Cota de torre	3974.509	3974.509	2506.888	2506.888	2372.220	2378.774	2749.921	2749.921	
Coordenadas	Este	362873.999	362873.999	329646.211	329646.211	330683.102	330683.075	353039.001	353039.001
	Norte	8701283.993	8701283.993	8686435.940	8686435.940	8686094.989	8686102.620	8693852.001	8693852.001
Tipo de torre	C	C	B	B	AA	AA	AA	AA	
Cuerpo de la torre	6	6	2	2	5	5	6	6	
Extensión de patas de la torre	A	12.00	12.00	3.00	4.50	12.00	12.00	4.50	4.50
	B	12.00	12.00	3.00	3.00	9.00	12.00	1.50	1.50
	C	1.50	1.50	3.00	3.00	1.50	6.00	7.50	7.50
	D	12.00	12.00	1.50	3.00	4.50	3.00	9.00	9.00
Altura que sobresale el pedestal	A	7.00	7.00	0.75	0.75	3.00	5.00	0.75	1.25
	B	1.25	2.00	1.25	1.25	2.00	5.00	0.75	0.75
	C	0.25	1.25	2.00	1.25	0.75	5.00	1.25	2.00
	D	0.75	1.25	1.25	0.25	2.00	2.00	0.25	0.75
Tipo de cimentación por pata	A	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
	B	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
	C	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
	D	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Pilastra	Zapata
Planos de cimentación (PE-COYA-00401-L-00-)	A	K4110	K4110	K2223	K2223	K3191	K3196	K2222	K2283
	B	K4110	K4110	K2223	K2223	K3186	K3196	K2222	K2283
	C	K4110	K4110	K2223	K2223	K3186	K3196	K2222	K2283
	D	K4110	K4110	K2223	K2223	K3186	K3186	K2222	K2283
Tipo de suelo	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca	Granular	

Nota. Elaborado en base a la ficha de registro.

Figura 5

Causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.



Nota. Elaborado en base a la ficha de registro.

De la figura 4 se observa que, las causas de la variación de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 fueron las siguientes: criterios de plantillado/ topografía del terreno, cambio de extensión de patas, cambio de ubicación de la torre y tipo de suelo. Los criterios de plantillado/topografía del terreno (26.38%) y el tipo de suelo (18.41%) fueron las causas que presentaron mayor incidencia.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de los proyectos de transmisión eléctrica es conectar los centros de producción de energía con los centros de consumo como las ciudades; sin embargo, su construcción implica una gran cantidad de retos e incertidumbres (Nundwe, 2017). La inversión para estos proyectos es de miles de millones de dólares, pero suelen presentar retrasos que tienen un efecto adverso significativo en el desarrollo económico de un país (Pall et al., 2016). Partiendo de lo sustentado por los autores se determinaron las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, obteniendo los siguientes resultados:

En la tabla 4 se observa que, se cuenta con un informe de estudio de suelos para la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, el cual se realizó con el fin de conocer las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno; información que fue necesaria para la definición de la cimentación de las torres en el proceso de desarrollo del diseño de cimentaciones en la etapa de ingeniería del proyecto; es así que se puede aseverar que el estudio de suelos tuvo un cumplimiento de más del 80% de los requisitos de la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones 2018. Tal como sostiene Gil (2018) la metodología del estudio de suelos de la empresa evaluada responde adecuadamente a los requerimientos mínimos establecidos por el Reglamento Nacional de construcción sismo resistente, con un cumplimiento de alrededor de 80%, sin embargo, se evidenció que existen ciertas falencias con relación a la metodología empleada para la exploración del suelo y los ensayos de laboratorio, los cuales pueden afectar considerablemente la precisión y funcionalidad de los estudios geotécnicos en cuanto a la predicción del posible comportamiento del suelo ante un evento externo.

En la Figura 1 se observa que, para la exploración de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, se realizaron 161 Apiques-barreno (método directo), 10 refracciones sísmicas (método indirecto) y 6 ensayos de penetración estándar (método semidirecto). De acuerdo con Leetsaar et al. (2021) en Estonia es muy común sobrediseñar las cimentaciones debido a la cantidad mínima de investigaciones geotécnicas, y recalcan que las investigaciones

geotécnicas efectivas ayudan a reducir las fallas, las reclamaciones con un diseño insuficiente o con un diseño excesivo.

En la figura 2 se observa que, el 50.31% de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 presentaron variación en su cimentación, de los cuales el 19.63% de torres presentaron variación en el tipo de cimentación, el 19.02% de torres presentaron variación en la geometría de la cimentación y el 11.66% de torres presentaron variación en la altura que sobresale el pedestal. Comparto lo que sostienen Afelete & Jung (2021) que los problemas de cambio de diseño son inevitables en los proyectos energéticos, como en cualquier otra industria, los cambios de diseño ocurren durante la fase de diseño y la fase de construcción; sin embargo, el impacto de los cambios de diseño en la fase de construcción es más significativo.

En la figura 4 se observa que, la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 variaron por criterios de plantillado/topografía del terreno, cambio de extensión de patas, cambio de ubicación de la torre y tipo de suelo. Los criterios de plantillado/topografía del terreno (26.38%) y el tipo de suelo (18.41%) fueron las causas que presentaron mayor incidencia. Por su parte, Zumrawi (2014), afirma que el perfil del suelo encontrado en los proyectos que estudió eran completamente diferente al indicado en el informe de estudio de suelos; en consecuencia, asevera que esto puede conducir a problemas de diseño y construcción tales como: tener cimientos diseñados inseguros, retrasos en la construcción y costos adicionales.

Finalmente se concluye que los resultados demuestran que el 50.31% de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, sufrieron variación en su cimentación presentándose con mayor incidencia por los criterios de plantillado/topografía del terreno (26.38%) y al tipo de suelo (18.41%). Cabe resaltar que uno de los temas críticos de los proyectos de líneas de transmisión es el diseño y la construcción de cimientos efectivos; los cimientos representan grandes inversiones y brindan la mayor probabilidad de sobrecostos de contratos y órdenes de cambio debido a condiciones imprevistas del suelo (Karels, 2019). Es por ello que la fase de investigación del suelo de cualquier diseño geotécnico juega

un papel vital, donde la caracterización inadecuada de las condiciones del subsuelo puede contribuir a una solución significativamente sobrediseñada que no es rentable, o a un diseño insuficiente, lo que puede conducir a fallas potenciales (Goldsworthy et al., 2007). Tal como afirma Ruíz (2018) para el diseño de una cimentación de una torre de transmisión de alta tensión, es sustancial conocer todos los aspectos mecánicos para evitar que una o varias torres de la línea de transmisión eléctrica de alta tensión se vayan a arrancar del suelo. 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.

CONCLUSIONES

El informe de estudio de suelos realizado en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, está alineado a 11 de los 13 requisitos descritos en la norma técnica E.050 Suelos y cimentaciones 2018. El informe de estudio de suelos no cuenta con el análisis de cimentación ni con los parámetros para el diseño y construcción de obras de sostenimiento; dado que; en proyectos de líneas de transmisión estos requisitos son propios del desarrollo del diseño de cimentaciones en la etapa de ingeniería del proyecto.

En la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, se aplicaron los 3 métodos de exploración de suelos (indirecto, semidirecto y directo). Según los lineamientos del documento interno de la concesionaria Interconexión Eléctrica S.A. se realizaron 161 Apiques-barreno con profundidad entre 2 y 5 metros, 10 refracciones sísmicas alcanzando profundidades del orden de 15 metros; y en cumplimiento a lo descrito en el Reglamento Nacional de Edificaciones se realizaron 6 ensayos de penetración estándar con profundidad máxima de 4.5 metros.

El 50.31% de las torres la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 presentaron variación en su cimentación, de los cuales el 19.63% de torres presentaron variación en el tipo de cimentación, el 19.02% de torres presentaron variación en la geometría de la cimentación y el 11.66% de torres presentaron variación en la altura que sobresale el pedestal.

Las causas de la variación de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2, fueron las siguientes: criterios de plantillado/ topografía del terreno, cambio de extensión de patas, cambio de ubicación de la torre y tipo de suelo. Los criterios de plantillado/topografía del terreno (26.38%) y el tipo de suelo (18.41%) fueron las causas que presentaron mayor incidencia.

En la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV-S2, se tuvo 3 tipos de variaciones en la cimentación: variación en la altura que sobresale el pedestal, variación en la geometría de la cimentación y variación en el tipo de cimentación, causados principalmente por la topografía del terreno y el tipo de suelo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda, a las empresas del rubro de electricidad, invertir un porcentaje del presupuesto que permita realizar un buen estudio de suelo con la finalidad de obtener una mejor caracterización del suelo y así mitigar los impactos en un proyecto, como son los impactos de tiempo y costo, buscando estar alineados a la línea base del cronograma y al presupuesto base.

Se recomienda, a los involucrados en proyectos de líneas de transmisión, realizar el estudio de suelos en todos los sitios de torres para poder determinar con mayor exactitud el tipo de suelo del terreno a cimentar. Además, se recomienda realizar el estudio de suelos sobre la poligonal definida, para evitar tener trazos nuevos de líneas a lo largo de la poligonal, que puedan estar fuera del polígono del estudio realizado.

Se recomienda, a las contratistas de líneas de transmisión, realizar el plantillado de torres sobre las secciones diagonales para la definición de la extensión de patas según el tipo de torre, haciendo uso de las dimensiones reales de la fundación según el tipo de suelo definido, para asegurar la ubicación de las fundaciones sobre un terreno estable y garantizar las distancias mínimas que se debe cumplir con respecto a taludes pronunciados debido a los terrenos desnivelados que se tiene propia de la geografía del Perú. Al garantizar que la fundación de la torre no se ubique muy cerca de taludes pronunciados se evita la construcción de obras de protección (muros estructurales) como reforzamiento a las fundaciones.

Se recomienda, a las contratistas de líneas de transmisión, realizar el levantamiento topográfico con equipos de alta precisión (GPS Diferencial), los mismos que deben ser manipulados por topógrafos con experiencia en líneas de transmisión.

Se recomienda, a las empresas dedicadas al rubro de la construcción, considerar las variaciones que se ha presentado en la obra de línea de transmisión en estudio como referencia para que puedan detectar las causas a tiempo y así poder diseñar cimentaciones efectivas.

REFERENCIAS

- Afelete, E., & Jung, W. (2021). Causes of design change depending on power project-types in Ghana. *Energies*, *14*(21), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/en14216871>
- Akhtar, M. (2012). Role of soil mechanics in civil engineering. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, *6*(2), 104–111. <https://www.researchgate.net/publication/261366087>
- Arora, K. (2004). *Soil mechanics and foundation engineering* (6.a ed.). Standard publishers. <https://pdfcookie.com/documents/soil-mechanics-and-foundation-engineering-by-dr-kr-arora-civilenggforallpdf-j267r41oy4l4https://pdfcookie.com/documents/soil-mechanics-and-foundation-engineering-by-dr-kr-arora-civilenggforallpdf-j267r41oy4l4>
- Bade, R., Qureshi, Z., & Yadav, S. (2016). Design of shallow foundation under downward, uplift and side thrusts loadings for transmission lines tower. *International Journal of Engineering Research*, *12*(10), 34–39.
www.ijerd.com
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics And Foundations* (3.a ed.). Wiley.
<https://kwkhaing.files.wordpress.com/2014/12/budhu-soil-mechanics-foundations-3rd-txtbk.pdf>
- Bustillos, A., & Pérez, V. (2015). *Introducción a las líneas de transmisión de energía eléctrica* [Universidad de Carabobo].
<https://www.sectorelectricidad.com/12443>
- Caycho, F. (2020). *Análisis y diseño de la cimentación superficial de una torre de alta tensión en líneas de transmisión* [Tesis de pregrado, Pontífica Universidad Católica del Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17491>
- Central Electricity Authority. (2016). *Report of the standing committee of experts on failure of EHV transmission line towers*.
https://cea.nic.in/old/reports/committee/failure_towers/report_failure_dec15_sep16.pdf
- Chavez, F., & Paz, A. (2020). *Metodología del diseño geotécnico de las*

- cimentaciones en líneas de transmisión* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4711>
- Crespo, C. (2004). *Mecanica de suelos y cimentaciones* (5.a ed.). Limusa. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (7.a ed.). Cengage Learning. [https://civil-team.weebly.com/uploads/2/5/8/2/25829430/principles_of_foundation_engineering_-_braja_m.das,_7th_ed_\(si_units\).pdf](https://civil-team.weebly.com/uploads/2/5/8/2/25829430/principles_of_foundation_engineering_-_braja_m.das,_7th_ed_(si_units).pdf)
- Das, B. M. (2013). *Fundamentals of geotechnical engineering* (4.a ed.). Cengage Learning. https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnic_a_braja_m_das_4ta_edicion
- Diallo, J. (2020). *Importance of soil mechanics investigation*. <https://www.building-pros.net/2020/12/importance-of-soil-mechanics-investigation/>
- Ganut, M., & Jay, M. (2018). *Challenges and impacts in power transmission lines projects in South America*. <https://www.alvarezandmarsal.com/insights/challenges-and-impacts-power-transmission-lines-projects-south-america>
- García, M. J., & Lucas, R. J. (2018). *Importancia de las cimentaciones, y el estudio del suelo para estructuras construidas en la ciudad de manta en la zona de Tarqui, Ecuador*. 1, 7. <https://www.researchgate.net/publication/328796090>
- Gil, J. (2018). *Conceptualización de la metodología de un estudio geotécnico definitivo con base en la literatura científica y al normativa legal vigente* [Trabajo de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22886/1/tesis_ultima_final.pdf
- Goldsworthy, J., Jaksa, M., Fenton, G., Griffiths, D., Kaggwa, W., & Poulos, H.

- (2007). Measuring the risk of geotechnical site investigations. *Probabilistic Applications in Geotechnical Engineering*, 12.
[https://doi.org/10.1061/40914\(233\)2](https://doi.org/10.1061/40914(233)2)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.).
- Hong, W., Bae, G., Kim, C., Lee, K., & Lee, K. (2001). 3-D simulation analysis for visualizing geotechnical site investigation. *15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Istanbul)*, 425–428.
<https://www.issmge.org/>
- International Finance Corporation. (2007). *Environmental, health, and safety guidelines for electric power transmission and distribution*.
www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines%0Ahttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=7406922&site=ehost-live%0Ahttp://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/714005704
- ISA. (2018). *Informe criterios básicos de diseño PE-COYA-00401-L00-D0003*.
- ISA CTM. (2023). ISA CTM anuncia la puesta en operación del proyecto de transmisión “ Enlace 500kV Mantaro - Nueva Yanango – Carapongo y Subestaciones Asociadas .” *Energiminas*.
- Jaksa, M. (2000). Geotechnical risk and inadequate site investigations: A case study. *Australian Geomechanics Journal*, 35(2), 39–46.
<https://www.researchgate.net/publication/242117931>
- Kagiri, D., & Wainaina, G. (2013). Time and cost overruns in power projects in Kenya : A case study of Kenya electricity generating company limited. *Orsea Journal*, 3(2), 69–115.
<https://orseajournal.udsm.ac.tz/index.php/orsea/article/view/5>
- Karels, L. (2019). Power line foundations and substation footprints: expect the worst, design for the actual. *T&D World*.
<https://www.tdworld.com/overhead-transmission/article/20972514/power-line-foundations-and-substation-footprints-expect-the-worst-design-for-the-actual>
- Kim, S., Pham, H., & Luu, T. (2018). Construction cost overruns in transmission

- grid projects. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 11(12), 1923–1948. <http://www.irphouse.com>
- Kyung, D., Choi, Y., Jeong, S., & Lee, J. (2015). Improved performance of electrical transmission tower structure using connected foundation in soft ground. *Energies*, 8(6), 4963–4982. <https://doi.org/10.3390/en8064963>
- Leetsaar, L., Korkiala, L., Jaaniso, V., Kurnitski, J., & Idnurm, J. (2021). Extent of geotechnical site investigations for buildings in Estonia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 727(1), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/727/1/012001>
- Nundwe, M. (2017). *Delays in construction of electricity transmission Lines in Zambia* [Tesis de maestría, Universidad de Zambia]. <http://asrjetsjournal.org/>
- Oxford. (2022). *Tempo*. <https://www.lexico.com/es/definicion/tiempo>
- Pall, G. (2021). *Causes of delay in power transmission projects in Bangladesh* [Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de Queensland]. <https://doi.org/10.3390/en13010017>
- Pall, G., Bridge, A., Skitmore, M., & Gray, J. (2016). Comprehensive review of delays in power transmission projects. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 10(14), 3393–3404. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.0376>
- Rajalakshmi, G., Shanmugavelu, V. A., & Ambalavanan, R. (2018). Analysis and design of angle / tension type double circuit tower for 110kV transmission Line with extension for railway line crossing to achieve vertical clearance using STAAD Pro V8i . *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 7(4), 3566–3580. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2018.0704050>
- Ranjan, G., & Rao, A. s. . (2005). *Basic and applied soil mechanics* (2.a ed.). New Age International. <https://lnct.ac.in/wp-content/uploads/2020/03/Soil-mechanics-gopal-ranjan-and-rao.pdf>
- Ranjan, R. (2006). *Computer aided design of transmission line tower foundations* [Disertación de maestría, Instituto Indio de Tecnología Roorkee]. <http://shodhbhagirathi.iitr.ac.in:8081/jspui/handle/123456789/13355>
- Rodriguez, R. (2011). *Métodos de perforación en muestresos estratigráficos*

[Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].

<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/24157>

Ruíz, 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]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/16234>

Scott, C. R. (1994). *An introduction to soil mechanics and foundations* (1.a ed.).

Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7250->

Stewart, M. (2021). *Surface production operations* (1a. ed.). Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/book/9780128037225/surface-production-operations#book-info>

Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3.a ed.). Wiley.

<https://cequcest.files.wordpress.com/2015/09/terzaghi129883967-soil-mechanics-in-engineering-practice-3rd-edition-karl-terzaghi-ralph-b-peck-gholamreza-mesri-1996.pdf>

Verruijt, A. (2018). *An introduction to soil mechanics* (1.a ed.). Springer.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-61185-3>

Villa, M. (2021). *Tipologías de líneas eléctricas según su tensión*.

<https://www.villafloresmartin.com/es/tipologias-de-lineas-electricas-segun-su-tension/>

Zumrawi, M. (2014). Effects of inadequate geotechnical investigation on civil engineering projects. *International Journal of Science and Research*, 3(6),

927–931. www.ijsr.net

APÉNDICE

- Matriz de consistencia del informe final de tesis.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLE E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Interrogante principal ¿Cuáles serán las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?</p> <p>Interrogantes secundarias</p> <p>a) ¿El informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2 cumple con los requisitos según la norma técnica E.050?</p> <p>b) ¿Cuáles serán los métodos de exploración de suelos usados para la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?</p> <p>c) ¿Cuáles serán las variaciones que se presentaron en la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?</p> <p>d) ¿Cuáles serán las causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2?</p>	<p>Objetivo general Determinar las variaciones de la cimentación en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>a) Verificar el cumplimiento de los requisitos descritos en la norma técnica E.050, en el informe de estudio de suelos de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2,</p> <p>b) Identificar los métodos de exploración de suelos empleados en la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV, S2.</p> <p>c) Determinar las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.</p> <p>d) Determinar las causas de las variaciones de la cimentación de las torres de la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV - S2.</p>	<p>Variable (X) Variación de la cimentación</p> <p>Dimensiones e Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de la norma técnica E050 <ul style="list-style-type: none"> -Resumen de las condiciones de cimentación. -Información previa -Exploración de campo -Ensayos de laboratorio -Perfil del suelo -Nivel de napa freática -Análisis de la cimentación -Efecto del sismo -Parámetros para el diseño y construcción de obras de sostenimiento -Análisis adicionales -Plano de ubicación de los puntos de exploración -Perfil estratigráfico por punto explorado -Resultados de los ensayos de laboratorio • Métodos de exploración de suelos <ul style="list-style-type: none"> - Método indirecto (Refracción sísmica) - Método semidirecto (Ensayo de penetración estándar) <ul style="list-style-type: none"> - Métodos directo (apique-barreno) • Variaciones en la cimentación <ul style="list-style-type: none"> - Variación en la altura que sobresale el pedestal. - Variación en la geometría de la cimentación. - Variación en el tipo de cimentación. • Causas de variación en la cimentación <ul style="list-style-type: none"> - Criterios de plantillado/Topografía del terreno - Cambio de extensión de pata - Cambio de ubicación de la torre - Tipo de suelo 	<p>Tipo de investigación - Básica</p> <p>Diseño de la investigación -No experimental-Transeccional</p> <p>Nivel de la investigación -Descriptiva</p> <p>Ámbito de estudio Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV – S2, 2023.</p> <p>Población La población para esta investigación es el proyecto Línea de Transmisión Campas - Carapongo a 500kV.</p> <p>Muestra La muestra es de carácter intencional no probabilístico y está conformada por la Línea de transmisión Campas - Carapongo a 500kV – S2, el cual cuenta con 163 torres.</p> <p>Técnicas de recolección de datos Análisis documental</p> <p>Instrumentos Ficha técnica Ficha de registro de datos</p>

- Instrumentos utilizados.

INFORME DE ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS SEGÚN LA E 050 SUELOS Y CIMENTACIONES DEL RNE, 2018.		
Nombre del proyecto :		
Fecha del informe de estudio de suelos:		
Descripción	Sí	No
I. Memoria Descriptiva		
1.1. Resumen de las Condiciones de Cimentación: Descripción resumida de todos y cada uno de los temas principales del informe.		
1.2. Información Previa: Descripción detallada de la información recibida de quien solicita el EMS y de la recolectada por el PR.		
1.3. Exploración de Campo: Descripción de los pozos, calicatas, trincheras, perforaciones, auscultaciones y ensayos.		
1.4. Ensayos de Laboratorio: Descripción de los ensayos efectuados, con referencia a las Normas empleadas.		
1.5. Perfil del Suelo: Descripción de los diferentes estratos que constituyen el terreno investigado, simbología SUCS.		
1.6. Nivel de la Napa Freática: Ubicación de la Napa Freática dentro de la profundidad de exploración		
1.7. Análisis de la Cimentación a) Memoria de cálculo. b) Tipo de cimentación y otras soluciones si las hubiera. c) Profundidad de cimentación (Df). d) Cálculo de la carga de rotura por corte y cálculo del factor de seguridad (FS). e) Estimación de los asentamientos que sufriría la estructura con la carga aplicada (diferenciales y/o totales). f) Presión admisible del terreno. g) Otros parámetros que se requieran para el diseño o construcción de las estructuras y cuyo valor dependan directamente del suelo.		
1.8. Efecto del Sismo a) Zona sísmica b) Tipo de perfil del suelo c) Factor del suelo (S) d) Período TP (s) e) Período TL (s)		
1.9. Parámetros para el diseño y construcción de obras de sostenimiento. a) Peso unitario g (ton/m ³) b) Cohesión c (kg/cm ²): c) Angulo de fricción ϕ (°) d) Coeficiente Activo Estático K _a e) Coeficiente en Reposo Estático K _o f) Coeficiente Pasivo Estático K _p g) Factor de Reducción del Empuje Pasivo R h) Coeficiente Activo Dinámico K _{as} i) Coeficiente en Reposo Dinámico K _{os} j) Coeficiente Pasivo Dinámico K _{ps} k) Coeficiente de Fricción bajo la cimentación Tan δ		
1.10. Análisis Adicionales: Indicación de las precauciones especiales (efecto de la Napa Freática, contenido de sales agresivas al concreto, expansión o colapso del suelo, licuación y otros que considere pertinente el PR.)		
II. Planos y Perfiles de puntos investigados		
2.1. Plano de Ubicación de los puntos de exploración: Plano planimétrico o topográfico del terreno. En el plano de ubicación se indica la ubicación física de los puntos investigados.		
2.2. Perfil Estratigráfico por Punto explorado: Información del perfil del suelo, así como las muestras obtenidas y los resultados de los ensayos "in situ".		
III. Resultados de los Ensayos de Laboratorio: Gráficos y resultados obtenidos en el Laboratorio.		

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	RESULTADOS
Variación de la cimentación	Requisitos de la norma técnica E.050	Resumen de las condiciones de la cimentación	Si
		Información previa	Si
		Exploración de campo	Si
		Ensayos de laboratorio	Si
		Perfil del suelo	Si
		Nivel de napa freatica	Si
		Análisis de la cimentación	No
		Efecto del sismo	Si
		Parámetros para el diseño y construcción de obras de sostenimiento	No
		Analisis adicionales	Si
		Plano de ubicación de los puntos de exploración	Si
		Perfil estratigráfico por punto explorado	Si
		Resultados de los ensayos de laboratorio	Si
	Métodos de exploración de suelos	Métodos indirectos: Refracción sísmica	10
		Métodos semidirectos: Ensayo de penetración estandar	6
		Métodos directos: Apiques-barreno	161
	Variaciones en la cimentación	Variación en la altura que sobresale el pedestal	11.66%
		Variación en la geometría de la cimentación	19.02%
		Variación en el tipo de cimentación	19.63%
	Causas de variación de la cimentación	Criterios de plantillado/Topografía del terreno	26.38%
		Cambio de extensión de pata	2.45%
		Cambio de ubicación de la torre	3.07%
		Tipo de suelo	18.41%