

Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica

Geological and Geotechnical Investigations model for to define the foundation of electric power line structures

Epifanio Suyo Rivera¹

RECIBIDO: 02/02/2016 - APROBADO: 30/06/2016

RESUMEN

Este trabajo es un resumen de la tesis del autor a sustentarse en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para optar el Grado de Magister en Geología, Mención en Geotecnia.

Se explica la necesidad de contar con un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión eléctrica. Este trabajo se ha motivado porque en la ingeniería práctica se ha comprobado que en algunos estudios de proyectos de este tipo se disminuyen o prescinden las investigaciones geológicas, perjudicando con ello las investigaciones geotécnicas que se basan en el conocimiento de las ciencias geológicas. Debido a ello también hay menos confianza en la estabilidad y seguridad para las futuras obras a construirse.

Con esta finalidad en la tesis se ha expuesto en forma amplia las metodologías de las investigaciones geológicas y geotécnicas, luego se presenta un modelo general tentativo de las investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de las estructuras de las líneas de transmisión eléctricas. Además se presenta un ejemplo de aplicación realizado por el autor en la zona minera de Orcopampa en Arequipa en el año 2005.

Palabras clave: Investigaciones geológicas, investigaciones geotécnicas, cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica, torres y postes.

ABSTRACT

This work is a summary of the author thesis for sustentation in the San Marcos Major National University for Master Degree in Geology, Mention in Geotechnics.

There is explained the need of a geological and geotechnical investigations model for to define the foundation of electric line structures (towers and poles). This work is motivated due in the practical engineering we had seen some projects of this type not use or have less geological investigations harming the geotechnical investigations that are based on knowledge of the geological sciences. Due it also there are less confidence of stability and security for the future construction works.

With this purpose in the thesis are presented the geological and geotechnical methodologies in wide way. Then is presented a tentative general model of geological and geotechnical investigations for to define the foundation of electric power line structures. Besides is exposed one application example of the general model done by the author in the mining zone of Orcopampa, Arequipa at 2005.

Keywords: Geological investigations, geotechnical investigations, foundation structures of electric power lines, towers and pole.

¹ Docente de Ingeniería Mecánica de Fluidos Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: rigeo.2012@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

I.1 EL PROBLEMA

Una buena ejecución de los trabajos de cimentación de las estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión eléctrica debe contar previamente con adecuadas investigaciones geológicas y geotécnicas. Sin embargo, en la ingeniería práctica se viene observando que las investigaciones geológicas no se realizan, otras veces se presentan incompletas y otras confusas. La falta de estudios geológicos serios atentan con las investigaciones geotécnicas posteriores que se basan en ellos y en general atentan con la estabilidad y seguridad de las cimentaciones. Figura N.º 1



Figura N.º 1: Torres y trazo de una línea de transmisión eléctrica

1.2 Marco teórico

Las principales bases teóricas en que se sustenta el modelo propuesto se refieren a los campos científicos y tecnológicos de las investigaciones geológicas y geotécnicas.

En el campo de las investigaciones geológicas tenemos las siguientes: investigaciones en fotogeología y sensores remotos, investigaciones en riesgo sísmico, técnicas de mapeo geológico superficial detallado siguiendo el trazo de la línea, técnicas de estudios petrográficos, entre otras.

En el campo de las investigaciones geotécnicas tenemos: definición de las características geotécnicas de suelos y rocas, técnicas de investigaciones subterráneas, "ensayos in situ", ensayos en laboratorio de mecánica de suelos y rocas, zonificación geotécnica del trazo de la línea, cálculo de la capacidad portante admisible en suelos, etc.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Metodología

El método de investigación del modelo propuesto se ha hecho teniendo en cuenta las investigaciones exploratorias y descriptivas con un enfoque cuantitativo.

El diseño de la investigación puede representarse con la siguiente ecuación:

$$Y = X + Z$$

En donde:

Y = Variable dependiente que corresponde al modelo propuesto de la cimentación de las estructuras.

X = Conjunto de variables independientes geológicas.

Z = Conjunto de variables independientes geotécnicas.

El modelo propuesto se ha volcado en un ejemplo real ejecutado por el autor en la zona minera de Orcopampa, Arequipa en el año 2005 y se halla incluido en la tesis (Suyo, 2015).

En el trabajo se han considerado dos unidades de análisis:

- a) Investigaciones superficiales en suelos y rocas.
- b) Investigaciones subterráneas mediante calicatas en suelos, todas siguiendo el trazo de la línea de transmisión.

2.2 Investigaciones geológicas

Las investigaciones geológicas se refieren básicamente a los siguientes parámetros:

2.2.1 Investigaciones de gabinete

Comprenden:

- a) Estudio de toda la información geológica publicada que se refiere al área del proyecto de la línea de transmisión.
- b) Estudios fotogeológicos utilizando fotos aéreas que recubren el área del proyecto usando estereoscopio de espejos. Los aspectos a interpretarse en las fotos son: patrones de drenaje, geomorfología, rasgos geo-estructurales, problemas de inestabilidad como deslizamientos, identificación de tipos de rocas y depósitos cuaternarios y la preparación de un plano fotogeológico, el cual debe de contar con chequeo de campo de las partes más importantes del trazo del proyecto. Como complemento se pueden usar imágenes de radar aéreo SLAR (AERO SERVICE-INGEMMET, 1975) y de satélite Landsat para estudios de Geología Regional.
- c) Hacer una evaluación del riesgo sísmico regional utilizando el mapa de regionalización sísmica del Perú por el Instituto Geofísico del Perú y para un estudio más detallado pueden prepararse planos con curvas de iso-aceleraciones con periodos de retorno de 50 y 100 años con el apoyo del Instituto Geofísico del Perú (Tavera, H. 2009).

2.2.2 Investigaciones de campo

Comprende básicamente efectuar el mapeo de la geología general del área del proyecto siguiendo el trazo de la línea de transmisión a escalas 1:50,000 o 1:25,000 sobre un plano topográfico. Sobre este plano topográfico se deben ir anotando y dibujando los contactos geológicos, riesgos geo-estructurales, tipos de rocas y depósitos cuaternarios, sectores afectados por problemas de inestabilidad (deslizamientos, etc.) y por último seleccionar los puntos representativos de los sectores con suelos donde se deben efectuar calicatas para investigaciones geotécnicas de mecánica de suelos. También se deben indicar características hidrogeológicas del trazo. Figura N.º 2



Figura N.º 2: Calicata en la línea de transmisión de la zona minera de Orcopampa, Arequipa.

2.2.3 Investigaciones de laboratorio

Estudios petrográficos de muestras de rocas en el trazo que sea de difícil identificación además de indicar el estado de alteración intempérica o hidrotermal de sus minerales de gran interés geotécnico.

2.2.4 Trabajos de Gabinete después de Campo

El primer trabajo de esta naturaleza es preparar el plano geológico final del área del proyecto. También se debe dibujar un perfil geológico del trazo de la línea de transmisión en donde la escala vertical puede ser 1:25,000 y la escala horizontal 1:50,000. Por último, se debe efectuar la redacción de la parte geológica del estudio del proyecto.

Todos estos parámetros geológicos, sin lugar a dudas, contribuyen a brindar informaciones muy útiles sobre las condiciones geológicas para la cimentación de las estructuras (torres y postes) (Figura N.º 1 Anexo) de la línea de transmisión de energía eléctrica y no deben ser ignoradas.

2.3 Investigaciones geotécnicas

Las investigaciones geotécnicas se refieren principalmente a los parámetros geotécnicos; se indican en el siguiente párrafo.

2.3.1 Parámetros geotécnicos

- Investigaciones de campo en suelos.- Calicatas, su descripción, muestreos, (Figura N.º 2 Anexo) y ensayos "in situ".
- Mapeo de rocas en el campo, mapeo geo-estructural, evaluación geomecánica RMR o de Bieniawski (Luis Gonzales de Vallejo, 2002).
- Investigaciones de canteras de rocas y agregados.
- Investigaciones de laboratorio de Mecánica de Suelos de muestras en zona de cimentación y como cantera.
- Investigaciones de laboratorio químico de suelos con sales agresivas al concreto.

- Investigaciones en Laboratorio de Mecánica de Rocas.
- Descripción del perfil estratigráfico de las calicatas.
- Zonificación Geotécnica del trazo de la línea de transmisión
- Cálculo de la capacidad portante admisible de las zonas con suelos del trazo de la línea.
- Investigaciones sobre la consolidación y asentamiento de los suelos.
- Sobre las características de las cimentaciones en los diferentes tipos de suelos.
- Sobre la cimentación en suelos difíciles: suelos colapsables, suelos expansivos, licuación de suelos y cimentación en taludes (Braja M. Das; 2006),

2.3.2 Cálculo de la capacidad portante admisible del suelo de una calicata

Uno de los principales parámetros geotécnicos es la capacidad portante admisible de un suelo. Aquí se presenta en detalle el procedimiento en la calicata N.º 1 de la línea de transmisión: S.E.Huancarama-S.E.Chipmo-S.E.Poracota de 66 kV realizado por (Suyo, 2005) en la zona minera de Orcopampa, Arequipa.

Para efectuar este cálculo empleamos la fórmula de Terzaghi adecuada para zapatas aisladas siguiente:

$$Q_c = 1.3 C N_c + D_f N_q + 0.4 B$$

Se sigue el procedimiento siguiente:

Primero.- Se utilizaron los datos de campo y laboratorio:

a) Datos de campo

$$D_f \text{ (profundidad de calicata)} = 2.5 \text{ m.}$$

$$B \text{ (ancho de calicata)} = 1.2 \text{ m.}$$

$$\gamma \text{ (Densidad, método cono de arena)} = 2.067 \text{ gr./cm.}^3$$

b) Datos de Laboratorio

Con un ensayo de corte directo sobre muestra de suelo se consiguió lo siguiente:

$$C \text{ (Cohesión)} = 0 \text{ Kg. /cm.}^2$$

$$\phi \text{ (Ángulo de fricción interna)} = 37.06 \text{ grados,}$$

Luego planteando el valor angular de la fricción interna sobre el gráfico de factores de capacidad de carga de Terzaghi obtuvimos

$$N_c = 65$$

$$N_q = 54$$

$$N_\gamma = 52$$

Segundo.- Se unifican los valores de los datos:

$$C = 0 \text{ Kg. /cm.}^2 = 0 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$= 2.067 \text{ gr. /cm.}^3 = 2067 \text{ Kg. /m.}^3$$

$$1 \text{ m}^2 = 10,000 \text{ cm}^2$$

Tercero.- Se aplicó la fórmula de capacidad portante de Terzaghi

$$Q_c = 1.3 C N_c + D_f N_q + 0.4 B$$

$$Q_c = (1.3 \times 0 \times 65) + (2067 \text{ Kg. /cm.}^3 \times 2.5 \text{ m.} \times 54) + (0.4 \times 2067 \text{ Kg. /cm.}^3 \times 1.2 \text{ m.} \times 52)$$

$$Q_c = 0 + (279,045 \text{ Kg. /m.}^2) + (51,592 \text{ kg./m.}^2)$$

$$Q_c = 330,637 \text{ Kg. /m.}^2 = 33.06 \text{ Kg. /cm.}^2$$

$$Q_c = 33.06 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ (Capacidad Portante simple)}$$

Aplicando el factor de seguridad (generalmente dividiéndolo entre 3) se obtiene la capacidad portante admisible

$$Q_a = Q_c / 3 = Q_{a\text{ admisible}} = 11.02 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ capacidad portante admisible}$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Modelo general propuesto

3.1.1 Introducción

Un modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas para la cimentación de estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión debe comprender los principales parámetros geológicos y geotécnicos que se investiguen en el gabinete, campo, laboratorio y gabinete después del campo. La preparación de este modelo tropieza con varias dificultades, el modelo toma en cuenta estas dificultades y se adecúa a ellas.

Las principales dificultades se derivan de los siguientes hechos:

- 1) La variada extensión en kilómetros de los proyectos.
- 2) La variada tensión transportada (la línea con mayor tensión requiere estructuras mayores con mayor peso).
- 3) La variada condición sísmica del terreno.
- 4) El variado relieve: planicies, cordilleras, etc.
- 5) La variada cobertura vegetal.
- 6) La presencia de problemas de deslizamientos, entre otros.
- 7) La zonificación geotécnica del trazo.
- 8) La disponibilidad de presupuesto.

3.1.2 Características del modelo general

Un intento de modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas para la cimentación de las estructuras de líneas de transmisión eléctrica debe tratar de incluir la mayoría de las siguientes investigaciones:

a) Investigaciones geológicas

- **Investigaciones de gabinete.-** Estudio fotogeológico, de imágenes de radar aéreo o satelital y de imágenes multiespectral de satélite. Estudio de riesgo sísmico.
- **Investigaciones de campo.-** Efectuar el mapeo geológico superficial detallado siguiendo el trazo de la línea. Tomar fotografías. Fijar tentativamente la ubicación de calicatas en sectores con suelos del trazo. Fijar sectores inestables geodinámicos en el trazo.

- **Trabajo de gabinete después del campo.-** Preparar el plano geológico del trazo de la línea sobre un plano topográfico.

b) Investigaciones geotécnicas

- **Investigaciones de campo.-** En los sectores con suelos indicados efectuar las calicatas programadas, hacer en cada una de ellas su descripción estratigráfica, muestreo para laboratorio y toma de fotos. En los sectores con roca del trazo efectuar investigaciones geomecánicas. Efectuar la zonificación geotécnica del trazo.
- **Investigaciones de laboratorio.-** En mecánica de suelos hacer análisis granulométrico mecánico y por vía húmeda. Determinación de la capacidad portante admisible con datos de campo (densidad in situ y dimensiones de calicata), datos de laboratorio (ensayo de corte directo) y aplicación de la fórmula de Terzaghi adecuada más el factor de seguridad. Ensayos químicos para definir la agresividad al concreto y al acero.
- **Investigaciones de gabinete después de campo.-** Dibujo del plano geotécnico con zonificación geotécnica, trazo de la línea y ubicación de las calicatas efectuadas. Definir y recomendar la cimentación adecuada para cada zona geotécnica incluyendo mejoras del suelo si fuera necesario.

3.1.3 Aplicación del Modelo General

En la tesis referida (Suyo, 2015) en el ítem 4.4 se presenta "Aplicación del Modelo: Geología y Geotecnia de la Línea de Transmisión 66 kV S.E. Huancarama- S.E. Chipmo-S.E. Poracota, Orcopampa, Arequipa" realizado por el autor en el año 2005.

IV. CONCLUSIONES

1. Un modelo general de las investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de las estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión eléctrica siempre deben contar tanto con investigaciones geológicas como investigaciones geotécnicas, sin dejar de lado ninguna de ellas y al hacerlas se deben exponer en forma clara tanto en los planos geológico y geotécnico como en su texto.
2. Las investigaciones geológicas del modelo general son muy importantes e imprescindibles por varias razones; en primer lugar, porque las investigaciones geológicas muchas veces sirven de base a las investigaciones geotécnicas y, en segundo lugar, su realización nos proporciona información importante para la seguridad y estabilidad de la cimentación que se diseña.
3. Las investigaciones geotécnicas del modelo general son muy importantes e imprescindibles para brindar seguridad y estabilidad a la cimentación de las estructuras (torres y postes) de las líneas de transmi-

sión eléctrica. Para ello las investigaciones geotécnicas deben realizarse en forma rigurosa tanto en el campo como en el laboratorio y en el gabinete en la preparación de los planos y texto.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al decano de la FIGMMG y al director de la Unidad de Investigaciones por su apoyo en la publicación de este artículo técnico en la Revista RIIGEO y a mis colegas geólogos que me brindaron sus consejos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AEROSERVICE-INGEMMET (1975). *Final Interpretation Report Side Looking Airborne Radar of Central and Eastern Peruvian Andes*, Houston, Texas, USA.
2. Braja , D. (2006). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*, California State University, Editorial Thomson, México.
3. Gonzalez , L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall, España.
4. Suyo , E. (2005). *Geología y Geotecnia de la Línea de Transmisión 66 kV S.E.Huancarama-S.E.Chipmo-S.E. Poracota*, Orcopampa, Arequipa, Perú.
5. Suyo , E. (2015). Modelo de Investigaciones Geológicas y Geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica. Tesis para optar el grado de Magíster, Mención en Geotecnia en la UNMSM. Lima, Perú.
6. Tavera, H. (2009). Fuentes sismogénicas y tipos de sismos en el Perú. *Revista de Geología* N.º 6 del Capítulo de Ingeniería Geológica. Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Departamental de Lima.

