



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**TEMA:**

Estudio Electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 Kv para optimizar la eficiencia energética en el trayecto Baba – Vinces

**AUTOR:**

Medina Quinto, Héctor Javier  
Campuzano Sánchez, Jorge Francisco

**Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**TUTOR:**

Ing. Quezada Calle, Edgar Raúl. MSc.

**Guayaquil, Ecuador**

**6 de septiembre del 2024**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente Trabajo de Integración Curricular fue realizado en su totalidad por Medina Quinto, Héctor Javier y Campuzano Sánchez, Jorge Francisco, como requerimiento para la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRICIDAD.

**TUTOR**

Ing. Quezada Calle, Edgar Raúl. MSc.

**DIRECTOR DE CARRERA**

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. PHD.

Guayaquil, 6 de septiembre del 2024



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Medina Quinto, Héctor Javier  
Campuzano Sánchez, Jorge Francisco

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Integración Curricular **“Estudio Electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 Kv para optimizar la eficiencia energética en el trayecto Baba – Vinces”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Electricidad**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Integración Curricular referido.

Guayaquil, 6 de septiembre del 2024

EL AUTOR

  
\_\_\_\_\_  
Medina Quinto, Héctor Javier

  
\_\_\_\_\_  
Campuzano Sánchez, Jorge Francisco



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Campuzano Sánchez, Jorge Francisco

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular: **“Estudio Electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 Kv para optimizar la eficiencia energética en el trayecto Baba – Vinces”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 6 de septiembre del 2024



---

Medina Quinto, Héctor Javier

EL AUTOR



---

Campuzano Sánchez, Jorge Francisco



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

REPORTE DE COMPILATIO

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

Medina Hector\_Jorge Campuzano  
Tesis Terminado final

3%  
Textos sospechosos

< 1% Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
< 1% entre las fuentes mencionadas  
2% Idiomas no reconocidos  
< 1% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Medina Hector\_Jorge Campuzano Tesis Terminado final.docx  
ID del documento: ca3693e572f06eeb0a50b1b2c63e24975711240b  
Tamaño del documento original: 4.95 MB  
Autores: []

Depositante: Edgar Raúl Quezada Calle  
Fecha de depósito: 16/8/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 16/8/2024

Número de palabras: 17.646  
Número de caracteres: 119.732

Ubicación de las similitudes en el documento:

**Fuentes principales detectadas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec https://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/1317/12494/3/T-UCSG-PRE-TEC-IEEM-177.pdf.txt 32 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (316 palabras)
2	Avance Final_Tesis_Ariel Angulo_B2023.docx   Avance Final_Tesis_Ariel An... #2023x El documento proviene de mi grupo 22 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (249 palabras)
3	repositorio.ucsg.edu.ec https://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/1317/12724/3/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-329.pdf.txt 26 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (198 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec https://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/1317/16240/3/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-134.pdf.txt 7 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (181 palabras)
5	TIC Garcia.docx   TIC Garcia #137166 El documento proviene de mi grupo 18 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (172 palabras)

**Fuentes con similitudes fortuitas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.unp.edu.ec http://dspace.unp.edu.ec/bitstream/123456789/27843/1/TYS1856.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
2	www.unach.edu.ec https://www.unach.edu.ec/wp-content/uploads/2021/09/Formulario-registro-y-Autorización-Trabajo...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
3	repositorio.uncp.edu.pe   Implementación del conductor no convencional termorr... http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8544	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
4	www.cnelep.gob.ec https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2015/04/ESTUDIOS-4.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
5	repositorio.udec.cl   Repositorio Bibliotecas UdeC: Desarrollo de una plataforma d... http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11554/11108	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- https://www.ugr.es/~amrodan/enlaces/dspace\_potencia\_reles.htm
- https://r/galeasunp.blogspot.com/p/lineastransmision.html
- https://areatecnologia.com/electricidad/redes-aereas-baja-tension.html
- https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/9716
- https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11348

*Edgar Raúl Quezada Calle*  
16/08/2024 18:14

Atentamente,

Ing. Quezada Calle, Edgar Raúl. MSc.

## **AGRADECIMIENTO**

Al concluir una etapa hermosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño que a pesar de mi edad estoy por culminar, porque nunca es tarde para alcanzar tus metas y seguir adelante aquellas personas que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo, fortaleza. Esta mención en especial para Dios, mis madres, mi hermana, mi esposa, mis hijos y mis sobrinos. Mucha gracias a ustedes por demostrarme que “El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere”.

Mi gratitud, también a la Universidad Católica Santiago De Guayaquil, mi agradecimiento sincero al tutor de tesis Ing. Edgar Quezada, gracias a cada uno de los docentes quienes con su apoyo y enseñanzas constituyeron la base de mi vida profesional. Gracias infinitas a todos.

Medina Quinto, Héctor Javier

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él y con su bendición he logrado culminar mi carrera, a mis madres María y Judith porque ellas siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional, sus consejos y ayuda para levantarme de las caída que me ha dado la vida y hacer de mí una mejor persona, a mi abuelito Papito Alejo aunque no esté físicamente con nosotros, desde el cielo siempre me cuida y me guía por el buen camino, a mi esposa por sus palabras de aliento y su confianza, por su amor y por el tiempo necesario para culminar mi meta y realizarme profesionalmente, a mis hijos por su tiempo y ánimo para seguir adelante, a mi hermana y sobrinos por sus palabras y compañía, a mis profesores, compañeros, amigos y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para el logro de mis objetivos.

Medina Quinto, Héctor Javier

## **AGRADECIMIENTO**

Gratitud es dedicar un momento a reflexionar sobre la suerte que tienes cuando te ocurren cosas buenas, sin importar si es algo pequeño o muy importante por eso este logro se los quiero dedicar a mis padres: Francisco Campuzano Tómalá y Lilian Sánchez Nieto por siempre estar para mí en mis pensamientos y mi corazón agradezco a cada uno de los que pudieron hacer esto posible agradezco a la universidad por brindarnos la oportunidad de hacer esto realidad ,maestros decanos, compañeros esto es el esfuerzo de un verdadero querer es poder. Por eso mi mejor consejo es no se rinda ante ninguna adversidad y se propongan ser mejor cada día y superarse a ustedes mismos.

Campuzano Sánchez, Jorge Francisco

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico a las personas que realmente amo aprecié y agradezco por siempre contar con ellos el cariño y el respeto que se merecen mis padres Francisco Campuzano Tómalá, Lilia Sánchez Nieto a mis hijos: Jack Campuzano, Jazlín Campuzano, Jadiel Campuzano, Jorge Campuzano Liam Campuzano, Daniela Vargas Aguilar y va decida también a este humilde servidor quien les habla y queda muy agradecido y a sus órdenes Jorge Francisco Campuzano Sánchez. ¡Gracias totales!

Campuzano Sánchez, Jorge Francisco



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO. PHID.**

**DIRECTOR DE CARRERA**

**ING. UBILLA GONZÁLEZ, RICARDO XAVIER, MSC.**

**COORDINADOR DE ÁREA**

f. \_\_\_\_\_

**ING. MERO VALLAS, ALEXANDER RONALD M.SC.**

**OPONENTE**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
Resumen.....	XV
Capítulo 1: Descripción general del trabajo de titulación .....	2
1.1 Introducción .....	2
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Definición del Problema .....	2
1.4 Justificación del Problema .....	2
1.5 Objetivos del Problema de Investigación.....	3
1.5.1 Objetivo general .....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Hipótesis.....	3
1.7 Metodología de Investigación .....	3
Capítulo 2: Fundamentación Teórica .....	5
2.1 Líneas de subtransmisión en la distribución de energía.....	5
2.1.1 Componentes de los sistemas electromecánicos en la distribución de energía.....	7
2.2 Transformadores de distribución y sus funciones principales .....	8
2.2.1 Diferentes tipos de transformadores de distribución utilizados en sistemas electromecánicos .....	9
2.2.2 Integran los sistemas electromecánicos con los transformadores de distribución.....	10
2.2.3 Desafíos que se enfrentan durante la integración de sistemas electromecánicos con transformadores de distribución .....	11
2.2.4 Métricas de rendimiento utilizadas para evaluar los transformadores de distribución.....	12
2.2.5 Métricas de rendimiento utilizadas para evaluar los transformadores de distribución.....	13
2.3 Funciones de las torres de transmisión en la distribución de energía .....	14
2.3.1 Clasifican de las torres de transmisión según su diseño estructural.....	15
2.3.2 Materiales utilizados en la construcción de torres de transmisión .....	16

2.3.3	Parámetros de diseño para las torres de transmisión en la distribución de energía.....	17
2.3.4	Normas y reglamentos de seguridad que rigen el diseño de torres de transmisión .....	18
2.4	Desarrollo histórico de los relés de protección electromecánica .....	19
2.4.1	Funcionamiento de los relés de protección electromecánicos.....	20
2.4.2	Componentes principales de los relés .....	21
2.4.3	Relés en sistemas de distribución de energía .....	22
Capítulo 3: Aportes de la investigación .....		24
3.1	Estudio de los tipos de suelo para línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces .....	24
3.2	Análisis de resistividad para sistema de puesta a tierra para la línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces .....	30
3.2.1	Resultados de resistividad.....	30
3.2.2	Requerimiento de puesta a tierra.....	31
3.2.2.1	Esquemas y cálculos del sistema de puesta a tierra .....	32
3.2.2.2	Instalación tipo 1 para el sistema de puesta a tierra .....	32
3.2.2.3	Instalación tipo 2 para el sistema de puesta a tierra .....	33
3.2.2.4	Instalación tipo 3 para el sistema de puesta a tierra .....	33
3.2.2.5	Instalación tipo 4 para el sistema de puesta a tierra .....	33
3.3	Estudio de aislamiento para la línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces.....	35
3.3.1	Sobre voltaje a frecuencia industrial .....	36
3.3.1.1	Corrección Probabilística .....	36
3.3.1.2	Corrección para Condiciones Atmosféricas.....	37
3.3.1.3	Espaciamiento en Aire .....	38
3.3.2	Sobre voltaje de maniobra.....	38
3.3.2.1	Corrección Probabilística .....	38
3.3.2.2	Corrección por condiciones atmosféricas .....	39
3.3.2.3	Espaciamiento en Aire .....	39
3.3.3	Sobrevoltaje de origen atmosférico.....	39
3.4	Presupuesto referencial construcción de línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces ...	42
3.4.1	Presupuesto electromecánico de la línea de Transmisión .....	42
3.4.2	Presupuesto eléctrico de la línea de Transmisión.....	46
3.4.3	Presupuesto civil de la línea de Transmisión .....	49
Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones.....		52

4.1 Conclusiones .....	52
4.2 Recomendaciones.....	53
Bibliografías.....	54
Anexo 1 .....	62
Anexo 2 .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2.1: Elementos que conforman un sistema eléctrico .....	5
Figura 2.2: Sistemas de distribución eléctrica aérea de baja tensión .....	6
Figura 2.3: Sistemas de distribución eléctrica con energías renovables .....	7
Figura 2.4: Transformadores de distribución de 30kVA .....	9
Figura 2.5: Transformadores de distribución de tipo montado de poste.....	10
Figura 2.6: Elementos que conforman un transformador.....	11
Figura 2.7: Corrientes de Foucault.....	13
Figura 2.8: Prueba de polaridad en transformadores .....	14
Figura 2.9: Líneas y sistemas de transmisión eléctricas .....	14
Figura 2.10: Diferentes tipos de torres de transmisión eléctricas .....	15
Figura 2.11: Conductor de aluminio reforzado con acero.....	16
Figura 2.12: Ejemplo de diseño de torres de transmisión eléctrica.....	17
Figura 2.13: Normas ASTM de pernos para estructuras.....	18
Figura 2.14: Relé de protección ERP .....	19
Figura 2.15: Funcionamiento y simbología de un relé de protección .....	20
Figura 2.16: Estructura de un relé normalmente abierto o normalmente cerrado.....	21

### Capítulo 3:

Figura 3.1: Recorrido de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces.....	24
Figura 3.2: Análisis del suelo y profundidad muestra V-1. ....	26
Figura 3.3: Análisis del suelo y profundidad muestra V-2. ....	27
Figura 3.4: Análisis del suelo y profundidad muestra V-3. ....	27
Figura 3.5: Análisis del suelo y profundidad muestra V-4. ....	28
Figura 3.6: Análisis del suelo y profundidad muestra V-5. ....	28
Figura 3.7: Análisis del suelo y profundidad muestra V-6. ....	29
Figura 3.8: Análisis del suelo y profundidad muestra V-7. ....	29

### Anexos:

Figura A1: Vista lateral, frontal superior y anclaje de la pirámide de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD. ....	62
---	----

Figura A2: Soporte de la cadena y adaptador de los aisladores de retención de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.....	62
Figura A3: Dimensiones y tamaño en escala 1:10 de pirámide de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD. ....	63
Figura A4: Vista lateral y frontal del soporte del seccionador y base del porta fusible de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD. ....	63
Figura A5: Vista lateral de la planta sección A de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD. ....	64
Figura A6: Vista lateral de la planta sección B de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD. ....	64
Figura A7: Sección A y B de los montanes de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD. ....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

### **Capítulo 2:**

Tabla 2.1: Elementos eléctricos y mecánicos de una línea de distribución ..... 8

### **Capítulo 3:**

Tabla 3.1: Cuadro de tipos de puesta a tierra a emplear ..... 34

Tabla 3.2: Ubicación de estructuras con tipo de puesta a tierra a instalar ..... 34

### **Anexos:**

Tabla A1: Cuadro de medidas y cálculo de la resistividad eléctrica en los vértices.. 66

## Resumen

El presente trabajo de integración curricular se centra en la elaboración de los diseños electromecánicos para la construcción de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces. Mediante el análisis de los diferentes tipos de suelo a lo largo del trayecto Baba-Vinces, enfocándose en sus propiedades físicas y químicas relevantes para la instalación de la línea de subtransmisión de 69 kV, para realizar las mediciones de resistividad del terreno en puntos clave del trayecto utilizando el método de Wenner de cuatro puntas, para establecer el sistema de puesta a tierra específico en base a las mediciones de resistividad de los suelos, mediante el cual se realiza el cálculo de las protecciones a emplear de la línea de subtransmisión de 69 kV del trayecto Baba-Vinces y en base a estos análisis se obtiene el presupuesto referencial para la construcción, la parte electromecánica y eléctrica de la línea de Transmisión de línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces. Este estudio proporcionará el desarrollo económico y social de la zona de Baba-Vinces depende en gran medida por un suministro eléctrico confiable y eficiente, mejorará la calidad del servicio eléctrico, impulsando así el crecimiento industrial, comercial y residencial de la región y además esta rama eléctrica pertenecería al sistema interconectado de energía eléctrica del país. El procedimiento de investigación utilizado es el literario o bibliográfico para investigar información acerca de la distribución eléctrica, subtransmisión a 69 kV, y casos de estudio similares.

**Palabras claves:** Línea de subtransmisión, estudio electromecánico, análisis de potencia, pérdidas eléctricas, eficiencia energética.

## ABSTRACT

This curricular integration work focuses on the elaboration of the electromechanical designs for the construction of the 69 kV subtransmission line in Baba-Vinces. Through the analysis of the different types of soil along the Baba-Vinces route, focusing on their physical and chemical properties relevant to the installation of the 69 kV subtransmission line, to carry out the soil resistivity measurements at key points of the route using the four-point Wenner method, to establish the specific grounding system based on the soil resistivity measurements, through which the calculation of the protections to be used on the 69 kV subtransmission line of the Baba-Vinces route is carried out and based on these analyses, the reference budget for the construction, the electromechanical and electrical part of the 69 kV three-phase transmission line Baba-Vinces is obtained. This study will provide the economic and social development of the Baba-Vinces area depends largely on a reliable and efficient electricity supply, improve the quality of the electric service, thus boosting the industrial, commercial and residential growth of the region and also this electric branch would belong to the interconnected electric power system of the country. The research procedure used is the literary or bibliographic to investigate information about the electric distribution, 69 kV subtransmission, and similar case studies.

**Keywords:** Subtransmission line, electromechanical study, power analysis, electrical losses, energy efficiency.

# **Capítulo 1: Descripción general del trabajo de titulación**

## **1.1 Introducción**

El suministro eléctrico es un componente fundamental para el desarrollo social y económico de cualquier región. En este contexto, el presente trabajo de titulación se centra en el diseño electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 kV con el propósito de mejorar la confiabilidad y eficiencia energética en el trayecto Baba-Vinces.

## **1.2 Antecedentes**

La Subestación Baba-Vinces actualmente se abastece de energía a través de una línea de subtransmisión proveniente de Esmeraldas. No obstante, dada la necesidad de contar con una infraestructura eléctrica más sólida y eficiente para poder cumplir con las demandas presentes y posteriores de la región, el Ministerio de Electricidad y Energía (MEER), ha proyectado la construcción de una nueva línea de subtransmisión de 69 kV desde la S/E de Transelectric Baba-Vinces (Atlas, 2020).

## **1.3 Definición del Problema**

Cuando se requiere hacer un mantenimiento Preventivo tales como, cambio de aislamientos, herrajes deteriorados por el tiempo y mantenimientos Correctivos tales como reparar una línea arrancada, cambio de una estructura de la línea 69 KV, no se puede realizar debido a que no se encuentra dentro del sistema interconectado de la energía eléctrica del Ecuador, por lo tanto todo este tipo de trabajo se lo realiza solicitando un corte de energía del sector al CNASE, por tal motivo todo este sector sufre una desconexión total del suministro de energía eléctrica hasta culminar los trabajos programados y de prevención.

## **1.4 Justificación del Problema**

El desarrollo económico y social de la zona de Baba-Vinces depende en gran medida de un suministro eléctrico confiable y eficiente. La construcción de una nueva línea de subtransmisión a 69 kV permitirá mejorar la calidad del servicio eléctrico, impulsando así el crecimiento industrial, comercial y residencial de la región y además esta rama eléctrica pertenecería al sistema interconectado de energía eléctrica del país.

## **1.5 Objetivos del Problema de Investigación**

### **1.5.1 Objetivo general**

Elaborar los diseños electromecánicos para la construcción de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Describir y analizar las propiedades físicas de los diferentes tipos de suelo a lo largo del trayecto Baba-Vinces, necesarias para la instalación de la línea de subtransmisión de 69 kV.
- Realizar mediciones de resistividad del terreno utilizando el método de Wenner y analizar el sistema de puesta a tierra en función de los rangos de resistividad encontrados.
- Establecer los cálculos de las protecciones requeridas para la línea de subtransmisión de 69 kV y realizar el análisis de presupuesto referencial para su construcción, abarcando los aspectos electromecánicos y eléctricos.

## **1.6 Hipótesis**

Se postula que el diseño electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces permitirá optimizar la confiabilidad y eficiencia energética en un 100% en la región, contribuyendo al desarrollo socioeconómico local.

## **1.7 Metodología de Investigación**

La investigación se basará en el análisis de normativas técnicas, el uso de herramientas de diseño especializadas, la realización de cálculos estructurales y electromecánicos, así como la evaluación de alternativas para la optimización del proyecto. A continuación, se muestran todas las metodologías a emplear:

- **Metodología Bibliográfica o Documental:** Se empleará para revisar la literatura especializada en distribución eléctrica, subtransmisión a 69 kV, y casos de estudio similares. Se recopilarán y analizarán normativas técnicas, manuales de diseño, artículos académicos y estudios previos que proporcionen una base teórica y contextual para la optimización de la eficiencia energética en la línea Baba – Vinces (Bocanegra, 2022).

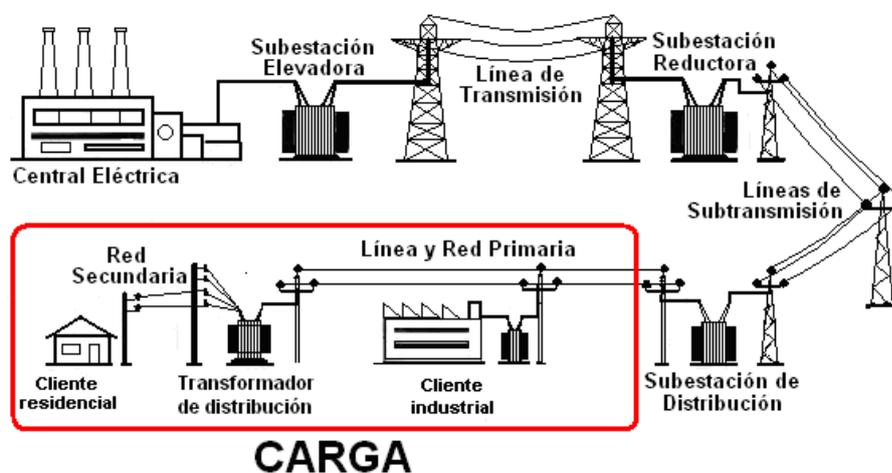
- **Metodología Cuantitativa:** Se usará para el propósito de hacer cálculos estructurales y electromecánicos precisos, para modelar la línea de subtransmisión junto con las alternativas de optimización. Además, Análisis estadístico de los datos recolectados y aprobar o rechazar los resultados obtenidos (López, 2021).
- **Metodología Descriptiva:** Se utilizará para describir detalladamente la configuración actual de la línea de subtransmisión Baba – Vinces. Se documentarán las características técnicas, los componentes electromecánicos y el estado operativo actual, proporcionando un punto de referencia claro para las mejoras propuestas (Oscanoa, 2020).

## Capítulo 2: Fundamentación Teórica

### 2.1 Líneas de subtransmisión en la distribución de energía

Es una pieza fundamental del sistema de distribución de energía eléctrica como se observa en la figura 2.1. Su labor primordial es trasladar la electricidad desde las zonas de transmisión de elevadas tensiones hasta los emplazamientos en donde se devuelve a los usuarios. Estas líneas funcionan en niveles de media corriente, normalmente en 66 kV y 33 kV, y están planificadas para mover bloques más pequeños de energía de manera eficiente a lo largo de distancias más cortas, llegando hasta las áreas donde hay demanda (Thakar et al., 2023).

Figura 2.1: Elementos que conforman un sistema eléctrico



Nota: Recorrido del sistema eléctrico desde la central eléctrica hasta el área residencial e industrial.

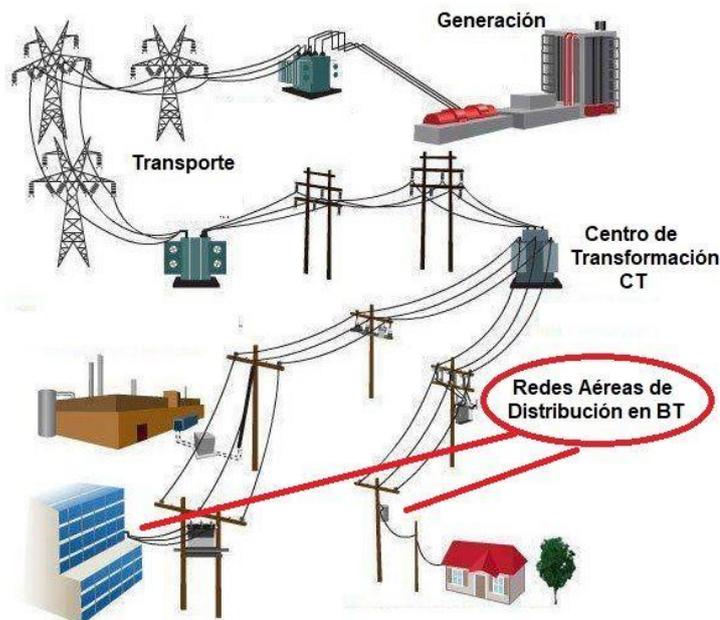
Fuente: (Arana, 2020)

La disminución del voltaje desde los valores elevados controlados por las vías de transmisión fundamentales hasta el valor de subtransmisión es importante. Este procedimiento garantiza que la energía sea más sencilla de gestionar y pueda ser redistribuida a los usuarios finales sin necesidad de realizar grandes modificaciones en la infraestructura. Esta reducción de corriente hace que la energía eléctrica sea transferida de manera más fácil hacia las redes de distribución, y por último se ofrece a los usuarios en grados de baja energía (Moayed et al., 2023).

La manera en que se diseñan y se ejecutan las líneas de transmisión de energía no sólo apoya la labor de transporte de una manera eficaz, sino que además tiene un

gran efecto sobre la estabilidad y la confiabilidad de la fuente de energía como se observa en la figura 2.2. En las operaciones en voltajes medios, estas líneas guían a fin de reducir las pérdidas de energía y mantener la calidad del suministro eléctrico. La capacidad y confiabilidad de las líneas de transmisión tiene una influencia directa en la capacidad general de la red de distribución de energía, resaltando su importancia durante la totalidad del procedimiento de distribución de energía (Zambrano, 2022).

**Figura 2.2:** Sistemas de distribución eléctrica aérea de baja tensión



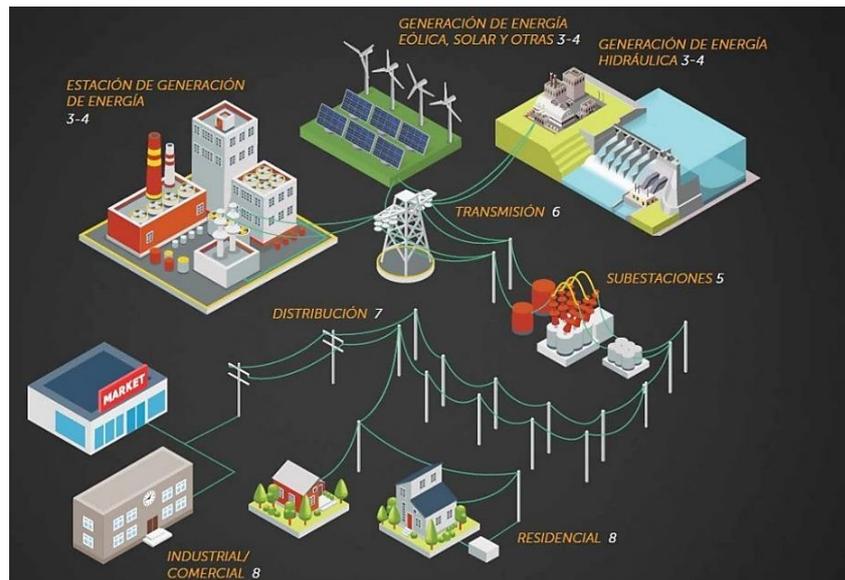
Nota: Trayecto del recorrido del cableado eléctrico aéreo de las líneas de baja tensión. Fuente: (Areatecnologia, 2020)

Además de ser responsable por la función principal de transferir electricidad, las líneas de subtransmisión tienen un papel importante en la administración de la demanda de energía y en la respuesta a situaciones de gravedad. Tienen el papel de articulación dúctil entre las principales vías de transmisión y los sistemas de distribución de energía de proximidad, de modo que los especialistas en electricidad pueden redirigir la corriente en caso de que haya fallas o sobrecargas. Esto aumenta la firmeza y la habilidad de recuperación de la red de electricidad, esto es fundamental para conservar la fluidez de la alimentación eléctrica en condiciones adversas (Zhiyuan & Hill, 2020).

Otro beneficio significativo de las líneas de subtransmisión es su capacidad de agregar fuentes de energía renovables a la red de distribución como se visualiza en la

figura 2.3. Con la propagación de la energía alternativa, como la solar, la eólica y otras formas de energía renovable, estos vínculos se transforman en vías fundamentales para trasladar esa energía desde los lugares de generación hasta los lugares de consumo. La habilidad de gobernar diferentes grados de voltaje y de adecuarse a las alteraciones en la generación de energía alternativa asegura que esta energía se utilice de manera más provechosa, lo que contribuye a una fuente de energía más sustentable y diversificada (Lyon, 2022).

**Figura 2.3:** Sistemas de distribución eléctrica con energías renovables



Nota: Diferentes tipos de energías renovables adaptadas al sistema de distribución eléctrica. Fuente: (Apliter, 2023)

### 2.1.1 Componentes de los sistemas electromecánicos en la distribución de energía

Una descripción general de los componentes esenciales de los sistemas electromecánicos involucrados en la distribución de energía, necesarios para garantizar la provisión de electricidad estable y eficiente, abarca una amplia variedad de elementos eléctricos y mecánicos cruciales para este proceso vital como se observa en la tabla 2.1. Los componentes eléctricos son insustituibles para proporcionar la potencia y el control necesarios en dichos sistemas para su funcionamiento coordinado y la gestión óptima del flujo de energía. Mientras tanto, los componentes mecánicos están orientados hacia la realización de tareas físicas para preservar la infraestructura necesaria para la prestación del servicio de distribución, integrando la interacción dinámica entre la fuerza física y la energía eléctrica (Arévalo & Nossa, 2022).

**Tabla 2.1:** Elementos eléctricos y mecánicos de una línea de distribución

<b>Categoría</b>	<b>Elemento</b>
<b>Componentes Eléctricos</b>	Transformadores de Distribución
	Interruptores, Disyuntores
	Relés de Protección
	Cables y Conductores
	Medidores de Energía, Reguladores de Voltaje
<b>Componentes Mecánicos</b>	Torres de Transmisión
	Aisladores
	Conectores y Empalmes
	Mecanismos de Conmutación
	Equipos de Enfriamiento
	Estructuras de Soporte
	Sistemas de Protección Contra Sobretensiones

Nota: Elementos mecánicos y eléctricos que poseen los sistemas electromagnéticos. Elaborada por:  
Autor

Es crucial notar que los sistemas incluyen subsistemas como sistemas de subtransmisión, alimentadores primarios y transformadores de distribución, que constituyen la columna vertebral de las redes de distribución de energía. Estos elementos fomentan la transmisión efectiva de electricidad desde los componentes de generación hasta los consumidores finales. Esta dislocación reitera no solo las operaciones críticas asociadas con estos procesos de distribución de energía, sino también la interdependencia de los elementos necesarios para garantizar la fiabilidad de los sistemas electromecánicos involucrados en la entrega a múltiples nodos de consumidores en entornos complejos (Zavaleta & Cunia, 2021).

## **2.2 Transformadores de distribución y sus funciones principales**

Es vital para la entrega segura y eficiente de energía eléctrica a los usuarios finales. Reducen la electricidad de alto voltaje suministrada desde los circuitos de distribución primarios. Se logra la conversión en un voltaje más bajo que sea ideal para su uso en hogares, negocios e industrias. Por lo cual, estos dispositivos varían en tamaño y ocupan un volumen que oscila entre 2.5 kVA y 500 Kva como se observa en la figura 2.4, según la necesidad de energía en la región. Fomentan la electricidad

porque facilitan la producción continua y confiable de la energía, un fin y facilitador crítico del estilo de vida humano. Como resultado, es esencial diseñar y mantener los transformadores con la máxima eficiencia y regulación del voltaje posible. La mejora significativa de su rendimiento, le permite funcionar por más tiempo. En resumen, los transformadores subestándares son críticos para el desarrollo de una infraestructura adecuada, ya que aseguran un suministro rápido a todos los usuarios finales (Gonzales, 2021).

**Figura 2.4:** Transformadores de distribución de 30kVA



Nota: Diferentes tipos de capacidades y diseño de los transformadores de distribución. Fuente: (Rte, 2020)

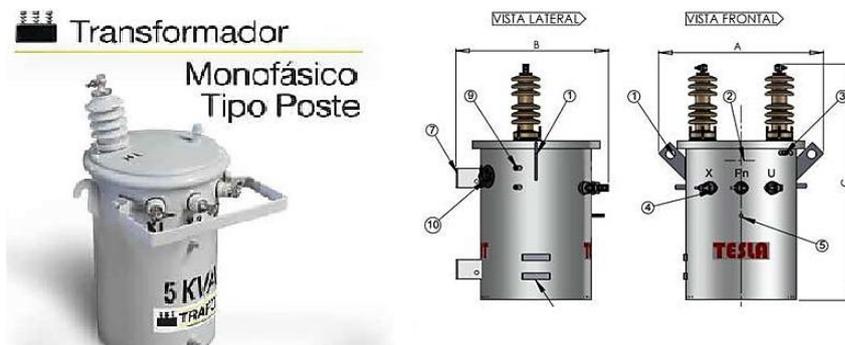
### **2.2.1 Diferentes tipos de transformadores de distribución utilizados en sistemas electromecánicos**

Los transformadores montados en poste forman otra categoría significativa de los sistemas electromecánicos utilizados en la distribución de energía eléctrica. Este tipo es especialmente popular en las vastas áreas rurales en un rango de tamaño entre 16 kVA para los modelos más pequeños y 100 kVA para las opciones de varias docenas de veces más grandes. Los transformadores montados en poste se desarrollan y operan según el principio de confiabilidad y están dirigidos a la instalación en condiciones geográficas duras y áreas no accesibles. Su implementación es esencial en las áreas con un nivel insuficiente de electricidad y es un producto adicional para la estabilización del suministro de energía en las zonas menos accesibles (García & Guerra, 2024).

Aparte de su función principal, los transformadores en poste también desempeñan un papel importante en la infraestructura del programa de electrificación

rural. El montaje de los dispositivos en los postes de electricidad disminuye considerablemente la necesidad de construir carreteras costosas para instalar las redes de cableado subterráneo que son insostenibles en las áreas sin infraestructura adicional. La necesidad adicional de conexión de la infraestructura energética a estas construcciones crea la cadena de valor general que se adapta a las condiciones financieras de las áreas menos desarrolladas. Los transformadores montados subrayan un hecho crítico sobre la interconexión de los sistemas electromecánicos donde el tipo de dispositivo puede afectar la eficiencia, la confiabilidad y el costo de las redes de energía. Todo lo cual resalta la importancia de no solo la capacidad y el rendimiento, la combinación del rango, sino también la resistencia a condiciones hostiles y la capacidad de sobrevivir a operaciones a largo plazo sin daños (Gutarra, 2023).

**Figura 2.5:** Transformadores de distribución de tipo montado de poste



Nota: Perspectiva delantera y trasera de los transformadores. Fuente: (Aquino et al., 2020)

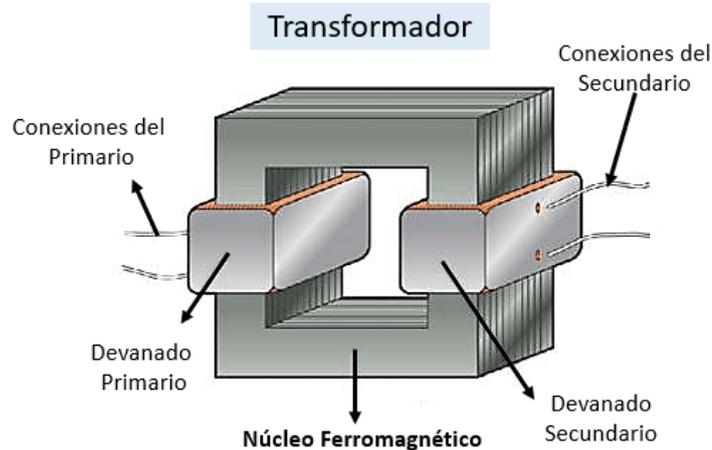
### 2.2.2 Integran los sistemas electromecánicos con los transformadores de distribución

La integración de sistemas electromecánicos con transformadores de distribución es crucial para asegurar que se opere una amplia variedad de dispositivos electrónicos y electrodomésticos sensitivos en un sistema que opera a un voltaje más bajo que el suministrado por la red eléctrica. La integración descansa sobre el principio de inducción electromagnética: una fuerza electromotriz aplicada al devanado primario del transformador resulta en un flujo magnético generado dentro del núcleo de hierro del transformador. Ese flujo es, a su vez, transferido desde el primer devanado al segundo con el resultado de la fuerza electromotriz generada en el devanado secundario como se observa en la figura 2.6. Se observa de cómo el transformador ajusta la electricidad de alto voltaje desde la red de distribución a un

voltaje mucho menor, adecuado para operar circuitos eléctricos y otros dispositivos (Saborío, 2023).

La reducción en el voltaje es esencial para proteger y asegurarse de que los electrodomésticos y dispositivos electrónicos operen solamente a estos voltajes. Por otra parte, los reguladores de voltaje y los condensadores conectados en paralelo al transformador pueden elevar la eficiencia técnica y económica del sistema. Por un lado, los reguladores de voltaje mantienen un nivel de voltaje estable y predefinido, asegurándose de que caídas o picos en la escala de suministro eléctrico no impacten la operación de los sistemas electromecánicos. Esto es crítico para asegurarse de que los sistemas de eléctricos operen sin interrupciones en el hogar, la industria y el comercio. En combinación, estos dispositivos y procesos establecen la importancia de sistemas electromecánicos en las redes de distribución del mundo. Su capacidad para transformar y regular la electricidad mejora la confiabilidad del suministro eléctrico y mejora significativamente la seguridad energética (Claro, 2022).

**Figura 2.6:** Elementos que conforman un transformador



Nota: Conexiones, devanados y núcleo que tiene un transformador. Fuente: (Queb, 2021)

### **2.2.3 Desafíos que se enfrentan durante la integración de sistemas electromecánicos con transformadores de distribución**

La integración de sistemas electromecánicos con transformadores de distribución acarrea desafíos complejos; hay dos áreas que requieren especial consideración: la administración del aislamiento y la disipación del calor. El aislamiento en el transformador es un sistema fundamental para evitar que sectores

electrógenos entren en contacto, impidiendo que se genere un arco eléctrico que cause grandes daños, al tiempo que también degrada el rendimiento a lo largo del tiempo. Además de estos factores, los transformadores pierden grandes cantidades de calor debido a la resistencia de cobre y hierro en el bobinado, que debe ser eliminado a través de procesos de disipación térmica eficientes (Palacios, 2024).

La ventilación natural a través del transformador es otro aspecto crítico, junto con una gama de procesos de disipación para garantizar la eficiencia y la vida útil del transformador. En general, la mecánica adecuada, el aislamiento y la disipación térmica determinarán si el transformador es viable para su uso en el marco del sistema. Finalmente, la transferencia de voltaje en el sistema eléctrico agrega otra capa de complejidad, con cantidades alternas de energía y una amplia variedad de voltajes en diferentes etapas del sistema. Asegurar la eficiencia y la fiabilidad a través de una cuidadosa redacción e ingeniería es clave para el éxito del proceso (Molina, 2024).

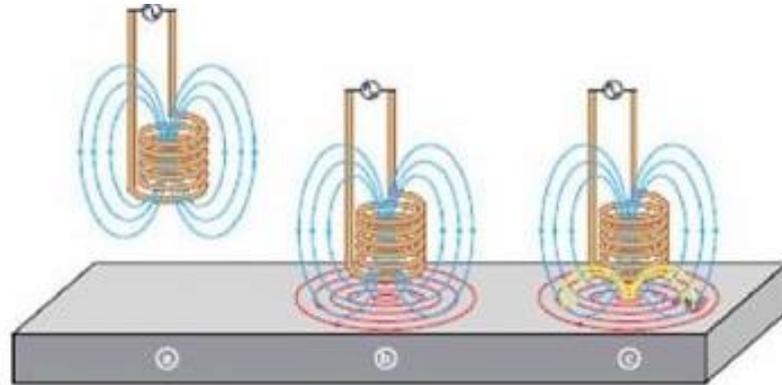
#### **2.2.4 Métricas de rendimiento utilizadas para evaluar los transformadores de distribución**

Una de las métricas clave para evaluar la calidad y el rendimiento de los transformadores de distribución es el factor K, que regula la tolerancia del transformador a los efectos térmicos de las corrientes de armonía. Dichas corrientes, a su vez, pueden aumentar las pérdidas debidas a los efectos de las corrientes de Foucault o de otras, que aumentan cuadráticamente con la frecuencia como se observa en la figura 2.7. Los transformadores de distribución deben soportar, en gran medida, corrientes con contenido de armonía destructiva; por tanto, se diseña de forma que el factor K normalmente se desvíe de 1, indicando una mayor estabilidad bajo condiciones de operación extrema (Morales, 2023).

Además del requisito en lo que respecta a la eficiencia energética, el factor K ayuda a elegir el tamaño correcto de los transformadores y, por lo tanto, también es necesario para mantener la estabilidad del sistema de suministro de energía. Evaluar el factor K de una manera precisa es vital para diseñar transformadores que puedan funcionar de manera independiente y fiable incluso cuando estén expuestos a corriente destructiva; de lo contrario, el sobrecalentamiento del núcleo y el posible fallo lo

amenazan. Por lo tanto, al comprender el factor K, es posible seccionar e instalar transformadores que puedan cumplir con los requisitos para un entorno operativo particular y, así, garantizar la estabilidad del suministro de energía a largo plazo (Misericordia, 2021).

**Figura 2.7:** Corrientes de Foucault



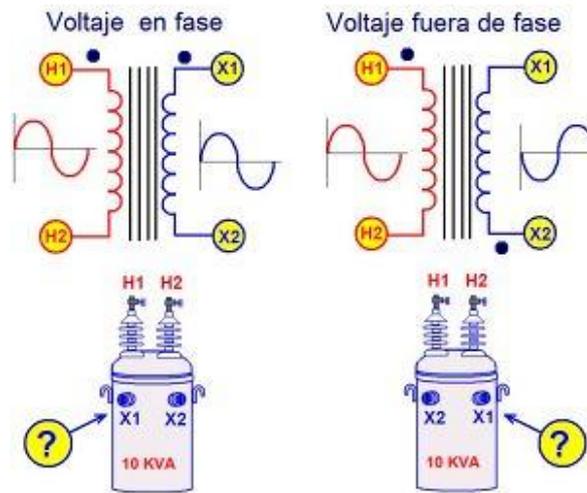
Nota: Corrientes parásitas que generan el efecto Foucault. Fuente: (Olympus, 2022)

### **2.2.5 Métricas de rendimiento utilizadas para evaluar los transformadores de distribución**

La ineficiencia energética es un problema común cuando se trata del rendimiento de los transformadores de distribución, lo cual puede tener consecuencias a largo plazo, a pesar de tener niveles de eficiencia superiores. El mantenimiento deficiente y las prácticas operativas también pueden exacerbar la ineficiencia. Por ejemplo, hacer funcionar un transformador a una frecuencia distinta a la diseñada conduce a mayores pérdidas y reduce su vida útil (Castillo, 2022).

Es crucial que los productos de transmisión cumplan con altos estándares de seguridad y eficiencia energética como los proporcionados en las normas C57.12.80 y C57.12.90 que establecen las categorías terminológicas y de métodos de prueba para los transformadores de distribución como se observa en la figura 2.8. El mantenimiento regular y las pruebas detalladas serán necesarios para asegurarse de que los transformadores estén siendo diseñados y mantenidos apropiadamente para garantizar que trabajen de manera óptima. Manteniendo un rendimiento bajo con el tiempo para minimizar las pérdidas y maximizar la salida. Los programas de mantenimiento consistentes son esenciales para corregir problemas antes de que sucedan (Normadoc, 2023).

**Figura 2.8:** Prueba de polaridad en transformadores

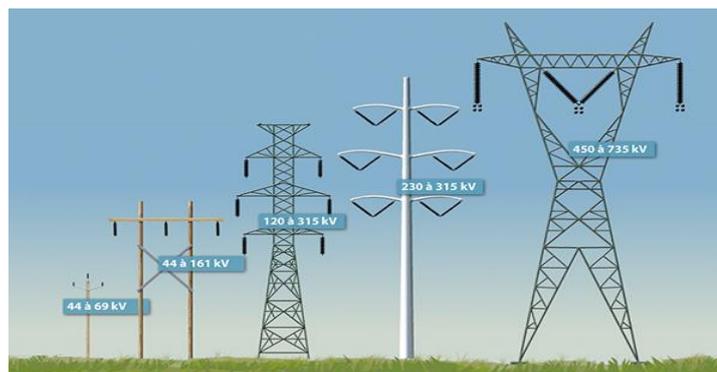


Nota: Medición de voltaje en fase y fuera de fase en transformadores por medio de prueba de polaridad. Fuente: (Electricistas.cl, 2022)

### 2.3 Funciones de las torres de transmisión en la distribución de energía

Son un componente crítico del sistema de transmisión de energía realiza múltiples funciones esenciales que garantizan la eficiente distribución de electricidad como se observa en la figura 2.9. En primer lugar, las torres transportan electricidad desde plantas de generación hasta subestaciones distribuidas por todo el país. Sus alturas les permiten soportar líneas eléctricas aéreas lo suficientemente alto para la transmisión de electricidad a largo plazo. La electricidad transportada tiene un voltaje considerable que es llevado a subestaciones de baja tensión antes de que se distribuya a los usuarios. En segundo lugar, desempeñan un papel en la seguridad y la confiabilidad, ya que los conductores mantienen el contacto con el entorno y los demás, por lo que las torres evitan los cortocircuitos (Mendía, 2022).

**Figura 2.9:** Líneas y sistemas de transmisión eléctrica



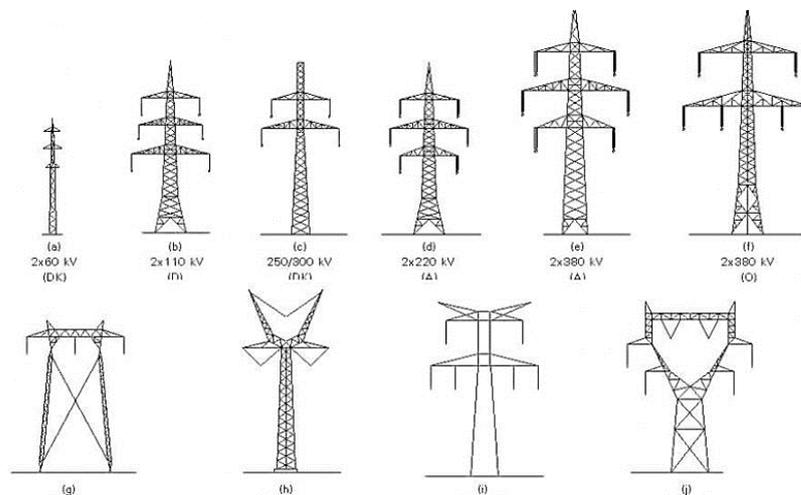
Nota: Diferentes líneas de transmisión y distribución con relación a voltajes de 69kV, 161kV, 315kV y 735kV. Fuente: (Steeletowerchn, 2020)

Por último, las torres están diseñadas para mantener una distancia del suelo de seguridad mínima según la tensión del sistema para evitar la degradación y garantizar la seguridad. En general, las torres de transmisión permiten la transmisión masiva de electricidad y mantienen la integridad y seguridad de la infraestructura, lo que hace de vital importancia para los sistemas de distribución de energía modernos (Valdiviezo, 2023).

### 2.3.1 Clasifican de las torres de transmisión según su diseño estructural

Se clasifican en cuatro: torres tangentes, en ángulo, terminales y de transposición como se observa en la figura 2.10. Varios factores pueden influir en el criterio de clasificación, el ángulo de desviación juega un papel crucial. En el campo, una línea de transmisión opera con varias veces desvíos de la ruta más corta debido a la presencia de edificios, árboles, cuerpos de agua o formas geográficas, lo cual da como resultado puntos de desvío únicos. Por lo tanto, las torres de transmisión son clasificadas según se desvié el ángulo en cuatro tipos: bajo desvío, desvío, terminal y transposición. Las torres, basadas en la geometría de los cables y la tensión, se diseñan para soportar diversos grados de ángulos formados por dos líneas de transmisión que se cruzan entre sí (Chávez & Paz, 2021).

**Figura 2.10:** Diferentes tipos de torres de transmisión eléctricas



Nota: Tipos de torres tangentes, ángulo, terminales y de transposición para distribución eléctrica.

Fuente: (SectorElectricidad, 2019)

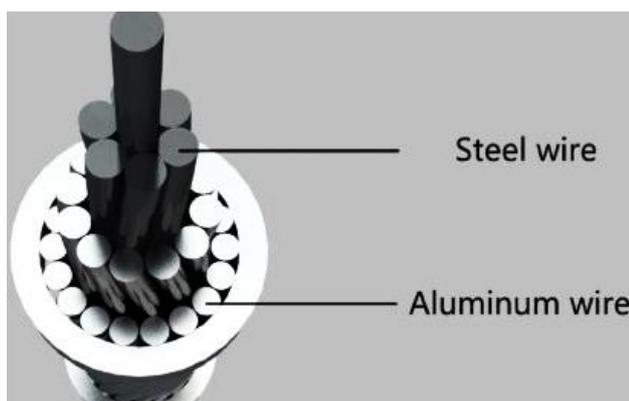
En general, los diseños estructurales difieren en cuanto a la geometría, aunque algunos difieren en material y aplicación. El número de patas resulta fundamental en

esta categorización. La desviación se produce cuando una línea se ejecuta sin curvas, en este caso, se instalan torres tangentes. El poste de esquina cambia de dirección perpendicular, las torres de este diseño en ángulo se instalan en este punto. Por otro lado, existen diseños estructurales, como las torres de celosía y los postes tubulares de acero. Las patas pueden ser suprimidas o agregadas con base en los requisitos estructurales. En general, esta tipología demuestra que la comprensión de la clasificación y el diseño de las torres de transmisión es esencial para la construcción efectiva y segura de nuevas líneas de transmisión, considerando la implementación suficiente del desviado del conductor de alto voltaje y la superación de obstáculos potenciales (Landeo, 2023).

### 2.3.2 Materiales utilizados en la construcción de torres de transmisión

El aluminio reforzado con acero como se observa en la figura 2.11 es predominantemente utilizado para los cables aéreos dada su alta resistencia a la tracción y excelente capacidad de conductividad, convirtiéndolo en el material ideal para transmitir eficientemente la electricidad a largas distancias. Los aisladores, los cuales son críticos para asegurar que no haya fugas de corriente no deseadas hacia el suelo, están hechos de una combinación de materiales, incluida cerámica y polímeros. Los materiales seleccionados han sido diseñados por su alta resistencia a la conductividad eléctrica y durabilidad en diferentes ambientes. En términos específicos, los polímeros han demostrado ser una mejor opción para los aisladores dado su alto rendimiento y confiabilidad, lo cual es crítico en mantener la integridad del sistema de transmisión (Jaucha, 2022).

**Figura 2.11:** Conductor de aluminio reforzado con acero



Nota: Conductor de aluminio conocido como ACSR para sistemas de transmisión de energía eléctrica.

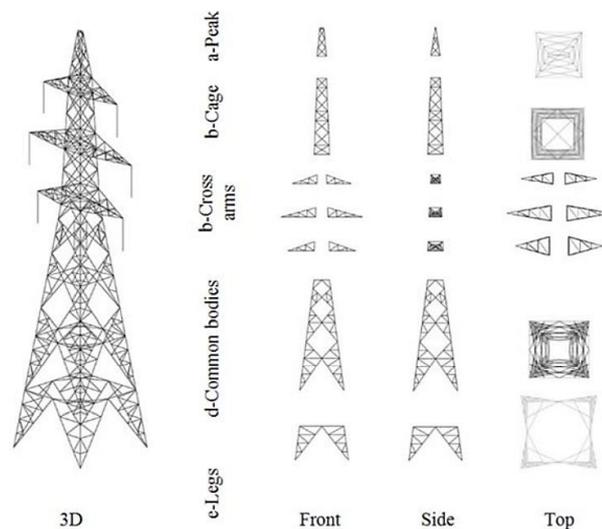
Fuente: (Ngenerygroup, 2021)

El uso estratégico de cables más pequeños y aislados es también utilizado para atraer y desviar los rayos, permitiendo así una segura transferencia de electricidad excedente al suelo, protegiendo cada pieza de infraestructura de transmisión en la ruta. La utilización de los diferentes materiales asegura que la torre opere de manera efectiva, mientras también aumenta su protección frente factores de tensión eléctrica y factores ambientales. De esta forma, la selección y aplicación cuidadosa de los materiales es crítica en asegurar una transmisión eléctrica (Oña & Ruales, 2024).

### 2.3.3 Parámetros de diseño para las torres de transmisión en la distribución de energía

Uno de los aspectos clave en el diseño como se observa en la figura 2.12 incluye la garantía de la confiabilidad y eficiencia de la transmisión eléctrica. Esto implica un enfoque de ingeniería metódico, detallado, fabricación y ensamblaje, crítico para preservar tanto la integridad estructural como la operatividad de las torres. Este arreglo se caracteriza porque las torres transportan líneas de tensión de alto voltaje, lo que las hace particularmente robustas para transportar conductores de transmisión lo suficientemente pesados como para transportarlos a una altura segura según el sistema actual de voltaje. Además, el diseño es significativo porque estas consideraciones deben adaptarse en varios voltajes para permitir un suministro eficiente de energía masiva a larga distancia mientras se mantiene la integridad y la seguridad de la transmisión (Gavidia & Paredes, 2021).

**Figura 2.12:** Ejemplo de diseño de torres de transmisión eléctrica



Nota: Elementos generales que conforman una torre de transmisión eléctrica de potencia. Fuente: (SteelStructure, 2019)

El proceso debe incorporar necesariamente consideraciones que tienen en cuenta el impacto en el entorno y la sociedad, lo que requiere limitar cualquier posibles desventajas, pero también mostrando una actitud proactiva hacia un futuro más prometedor. Los parámetros de diseño que abordan aspectos como la resistencia a eventos naturales, la condición estructural y los niveles de emisión de carbono. Por lo tanto, el objetivo es garantizar que los diseños generados sean no solo efectivos y seguros, sino que también cumplan con sus especificaciones sostenibles y patrones a largo plazo (Ramírez et al., 2020).

### 2.3.4 Normas y reglamentos de seguridad que rigen el diseño de torres de transmisión

En el diseño de torres de transmisión, el cumplimiento de estrictas normas y reglamentos de seguridad es fundamental para garantizar la integridad estructural y la seguridad operativa. Un punto importante es el cumplimiento del Código de construcción de puente soldado, acero de la Sociedad Americana de Soldadura, del que se infiere que se deben seguir las prácticas de soldadura seguras para garantizar que las torres sigan siendo estables y duraderas. El siguiente es debido a las normas ASTM como se observa en la figura 2.13 en cuanto al uso de pernos de alta resistencia, que tienen alta tensión y este punto debe tenerse en cuenta a través del tratamiento de calor para resistir tanto las tensiones ambientales (More & Taipicuri, 2021).

**Figura 2.13:** Normas ASTM de pernos para estructuras



Nota: Diferentes tipos de modelos de pernos en base a resistencia y temperaturas para estructuras.

Fuente: (Imporpernos, 2019)

Además de los aspectos mecánicos, en el diseño deben tenerse en cuenta aspectos como los climáticos y ambientales, que pueden determinar los materiales que

se seleccionan y, por lo tanto, la resiliencia de la estructura. Otro aspecto crucial es la adopción de contramedidas para efectos de segundo orden, que afecta a la estabilidad y al rendimiento de la estructura bajo diferentes condiciones de carga, sobre todo en el caso de torres de subestaciones altas y estructuras de línea. Los sistemas de puesta a tierra garantizan la seguridad de las torres de transmisión, ya que disipan las cargas negativas en el entorno para evitar sus efectos sociales, que incluyen cortocircuitos, relámpagos y fallas de aislamiento. Por lo tanto, el diseño de torres de transmisión debe basarse en un enfoque integral para cumplir con los diversos estándares interconectados, pero en última instancia, críticos (Rojas, 2022).

#### 2.4 Desarrollo histórico de los relés de protección electromecánica

Estos dispositivos anteriormente se desarrollaron por primera vez a principios del siglo XX y se convirtieron en el pilar sobre el que se basó la protección de los sistemas eléctricos durante ese período. Estos relés como se observa en la figura 2.14 se crearon para señalar varios estados anormales arbitrarios tales como corrientes, voltajes altos y bajos, fallas a tierra, cortocircuito, sobretensiones y sobrecalentamiento por fusión, luego aislar la fuente de alimentación para evitar el daño. Los relés también tenían alimentación propia, lo que significa que no dependían de las fuentes de energía exterior, aumentando así drásticamente su fiabilidad y eficacia para las primeras redes eléctricas (Bernaola, 2022).

**Figura 2.14:** Relé de protección ERP



Nota: Relés de protección utilizados en subestaciones eléctricas como medio de protección para las instalaciones. Fuente: (Edibon, 2020)

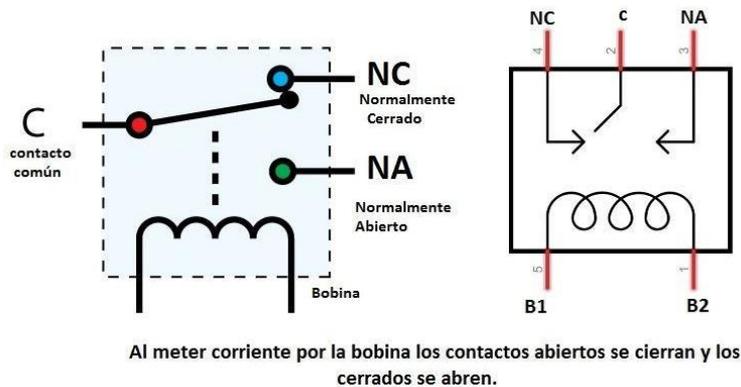
Su función principal consistía en proteger la infraestructura eléctrica en caso de fallo, abriendo un elemento aislante siempre que se detectara una anomalía, lo que

garantizaba la protección y estabilidad de toda la red. Las opciones más comunes incluían la protección de sobre corriente, desconexión diferencial y lo que se conoce generalmente como relés de protección de distancia, y las tres se ocupaban de aspectos específicos de los fallos eléctricos y ofrecían protección exhaustiva. En general, esta innovación sentó las bases de la protección moderna, demostrando la necesidad crítica de alarmas de detección y disyuntores oportunos y precisas para prevenir fallos críticos (Cruz, 2020).

### 2.4.1 Funcionamiento de los relés de protección electromecánicos

Estos dispositivos operan sobre la base de la inducción electromagnética e involucran el uso de la energía de la corriente eléctrica para el trabajo efectivo como se observa en la figura 2.15. Son parte integral y fundamental para identificar condiciones anormales o fallas en el sistema eléctrico y juegan un papel crucial al asegurar que la falla se identifique con precisión y envíe una respuesta para aislar la sección afectada respectivamente. Para evaluar la diferencia entre la condición normal y la condición de falla, mide varios parámetros eléctricos (Barbosa, 2023).

**Figura 2.15:** Funcionamiento y simbología de un relé de protección



Nota: Apertura y cierre de un relé a través de la aplicación de una corriente eléctrica a través de su bobina. Fuente: (Edibon, 2020)

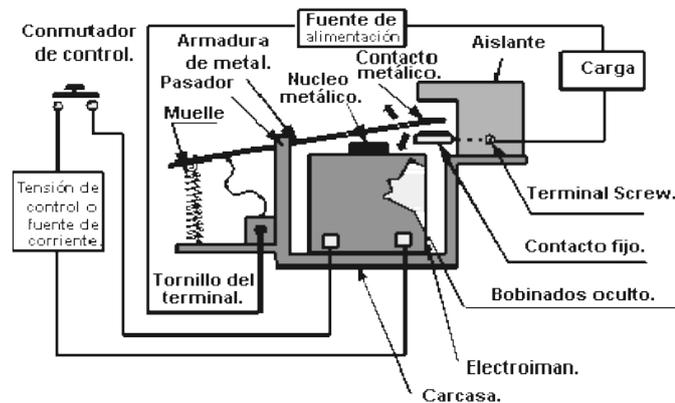
Durante la falla, el relé enciende o apaga el mecanismo del interruptor, lo cual ayuda a su apertura para evitar daños a los equipos principales o cerrar el circuito. Por ende, garantiza la seguridad y la confiabilidad de todo el sistema. Dado que pueden permanecer inactivos durante mucho tiempo e implementar una respuesta casi inmediata y precisa ante una falla en cualquier parte del sistema, destaca la necesidad crítica de estos relés. En consecuencia, la instalación de relés de protección

electromecánicos de calidad es imprescindible para mantener la estabilidad y la seguridad de los activos de energía (Mendez, 2023).

#### 2.4.2 Componentes principales de los relés

Estos dispositivos han evolucionado en sus componentes principales para incorporar una variedad de elementos diseñados para funciones y aplicaciones específicas. Por ejemplo, se puede mencionar que los relés poseen contactos montados en delgadas láminas de metal en su interior. Estos contactos, en general están hechos de material ferromagnético como se observa en la figura 2.16, los cuales son sensibles al campo magnético. Para activar los contactos y completar o interrumpir el circuito eléctrico, una bobina alrededor del dispositivo, previamente fabricada de ánodo, genera el campo magnético necesario (Gualoto & Quinaluisa, 2020).

**Figura 2.16:** Estructura de un relé normalmente abierto o cerrado

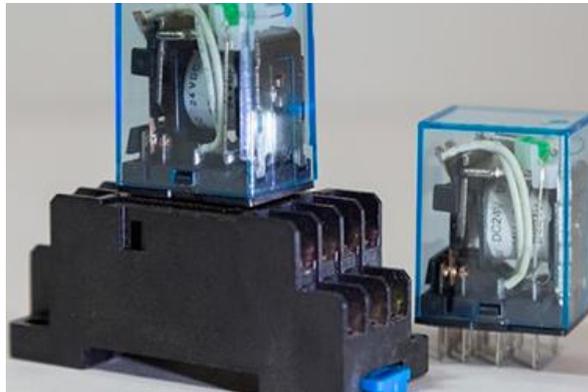


Nota: Elementos que conforman al relé. Fuente: (Aguilar & Montejo, 2020)

Además, el componente clave de los relés, es el interruptor de láminas está compuesto por un conjunto de láminas metálicas encerradas en un tubo de vidrio lleno de gas inerte como se observa en la figura 2.17. Esto evita la oxidación y prolonga la vida útil. Al aplicar el campo al relé, las láminas se juntan y cierran el circuito, lo que demuestra la capacidad de conmutación de este dispositivo. Estas piezas intrincadas y otras aseguran que el relé funcione con precisión y fiabilidad, por lo que el rendimiento es esencial en aplicaciones que requieren circuitos precisos, como maquinaria industrial y electrodomésticos. Por otro lado, la actualización y la innovación permiten el desarrollo de nuevos relés y su aplicación de manera más rápida en sistemas más avanzados. Estos relés también han incorporado tecnología moderna con materiales más duros y precisos, lo que ha permitido la creación de relés más pequeños y robustos.

El diagnóstico y el monitoreo también se han agregado a estos relés para evitar fallos y para el mantenimiento que es posible gracias al avance con la tecnología moderna. Su versatilidad los hace indispensables en el mundo de la tecnología (Melany, 2020).

**Figura 2.17:** Relé electromagnético pequeño



Nota: Bobina, armadura, contactos y terminales que lo componen. Fuente: (Seas, 2019)

### 2.4.3 Relés en sistemas de distribución de energía

Una de las funciones cruciales que desempeñan los sistemas electromecánicos es la integración de relés de frecuencia como se observa en la figura 2.18. Los relés de frecuencia se instalan en sistemas de distribución de energía para garantizar la estabilidad y la seguridad del sistema. Tienen la intención de identificar desviaciones en la frecuencia de la potencial eléctrica que sugieren problemas como sobrecargas y cigüeñales de generación. Cuando se sale del rango programado, los relés de seguridad se disparan para desconectar las cargas o los generadores a través de la activación de los disyuntores, según el caso (Encala & Tonato, 2023).

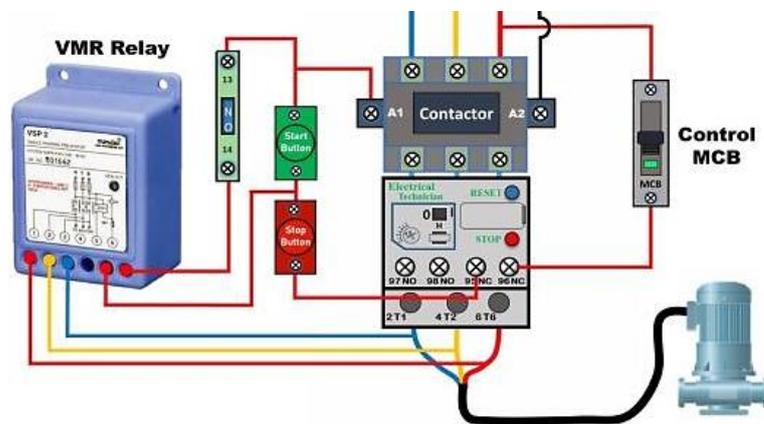
**Figura 2.18:** Relé de protección para frecuencias



Nota: Relé Reyrolle 7SR158 para montaje de panel bajo las normas de IEC con un rango de operación de 64V a 300V. Fuente: (DirectIndustry, 2024)

Además, los relés son eficientes en su aplicación porque, mediante el uso de señales de baja potencia, controlan circuitos de alta potencia, lo que asegura que puedan actuar rápidamente como se observa en la figura 2.19. Al mismo tiempo, ofrecen aislamiento con los circuitos de alto voltaje, evitando que el desequilibrio dañe a quienes operan la maquinaria. Gracias al sistema de control inteligente, los relés pueden simular en tiempo real todo el sistema de energía, lo que garantiza un enfoque preciso y oportuno para hacer frente a cualquier problema. A nivel general, la coordinación entre distintos tipos de relés garantiza que la parte defectuosa sea aislada, lo cual garantiza la estabilidad y seguridad de todo el sistema. En resumen, los relés son esenciales en la sistema moderno porque garantizan la seguridad y la fiabilidad (Fernández, 2021).

**Figura 2.19:** Diagrama de relé para protección de motor

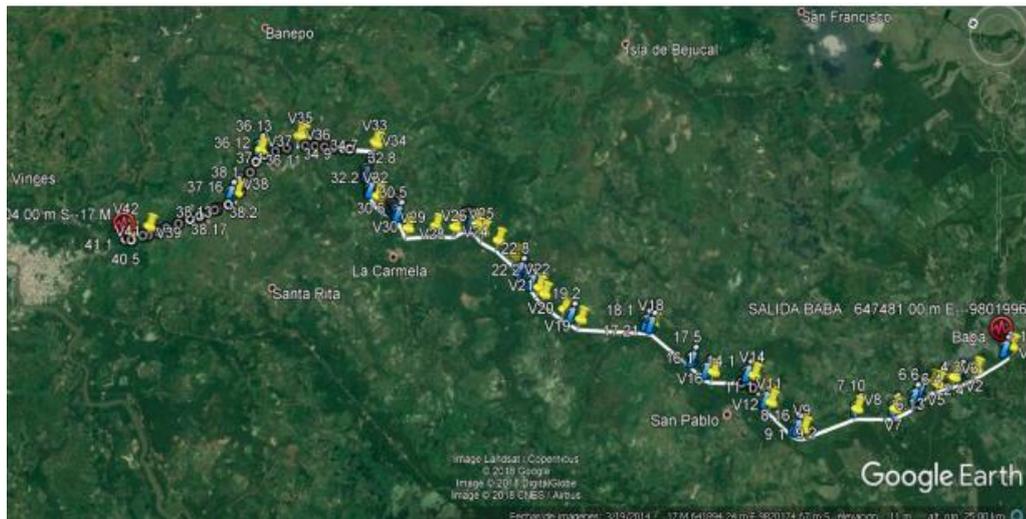


Nota: Diagrama de conexiones para el monitoreo de voltaje de un motor eléctrico. Fuente: (Geya, 2022)

### Capítulo 3: Aportes de la investigación

La ruta de la línea de subtransmisión a 69 kV para la que se planifica la ejecución del proyecto está localizada entre las ciudades de Baba y Vinces, pertenecientes a la provincia de Los Ríos en Ecuador. Dicha línea se origina desde la subestación Vinces, la cual está establecida en el kilómetro 1.5 de la vía al centro de la ciudad de Vinces, y culmine a la subestación Baba, cuya propiedad pertenece a CNEL Los Ríos. La línea cuenta con una extensión de un 90% en áreas rurales. Por tanto, esto significa que el 90% de la ruta se ubica en áreas no urbanizadas, la cual se factura como una forma indirecta para proporcionar energía a más comunidades aisladas e impulsar su desarrollo. Sin embargo, el hecho de que la mayoría de la línea pase a través de esta área presentan dificultades logísticas y técnicas, todas van desde la variabilidad de terrenos para instalaciones hasta la protección del impacto en la infraestructura. Los lugares exactos de ubicación de la línea se describen en el mapa de la figura 3.1 a continuación.

**Figura 3.1:** Recorrido de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces.



Nota: Mapa de Google Earth del recorrido planteado de la línea de subtransmisión Baba-Vinces.

Elaborada por: Autor

#### 3.1 Estudio de los tipos de suelo para línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces

En el presente informe se estudia a profundidad las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de los sectores que albergarán la línea de subtransmisión trifásica a 69 kV. Puesto que en estos sitios se instalarán estructuras de concreto

armado y cimentaciones especiales, los cuales soportarán las cargas de las torres, postes y equipos eléctricos, estos últimos son componentes básicos del proyecto. En este análisis se tomarán en cuenta los resultados de las actividades de campo y laboratorio, se tiene como meta definir el perfil estratigráfico del subsuelo, Requisito la capacidad de carga admisible y prever los posibles asentamientos del suelo de fundación del proyecto.

Con el fin de obtener muestras de suelo sin alteraciones que definan el perfil estratigráfico natural de los terrenos, se efectúan siete sondeos, los que logran alcanzar una profundidad de 3 metros por cada uno. Los sondeos, denominados V-1, V-2, V-3, V-4, V-5, V-6 y V-7, se ubican en el sector de las descargas de la estructura promedio. Las coordenadas y elevaciones de cada sondeo son:

- **V-1:** SEV 17, Coordenadas: X=640543, Y=9825692
- **V-2:** V41 16, Coordenadas: X=640449, Y=9825566
- **V-3:** V35 47, Coordenadas: X=644688, Y=9822280
- **V-4:** V19 24, Coordenadas: X=643239, Y=9812976
- **V-5:** V6 4, Coordenadas: X=645472, Y=9803420
- **V-6:** V1 15, Coordenadas: X=647198, Y=9801674
- **V-7:** SEB 17, Coordenadas: X=647795, Y=9802000

Con las muestras inalteradas obtenidas de los sondeos, se realizaron diversos ensayos de clasificación, que incluyen:

- Determinación de contenidos naturales de humedad.
- Análisis granulométrico por tamizado.
- Compresión sin confinar.
- Límites de Atterberg.
- Densidad húmeda.
- Consolidación.

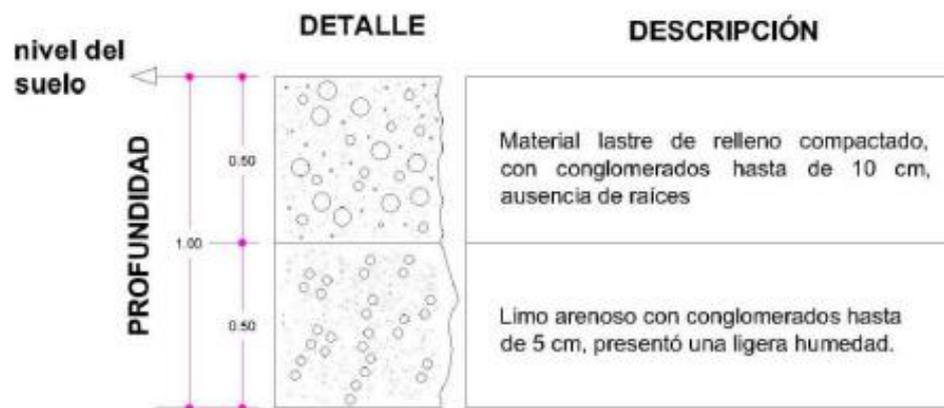
Con la información de estos ensayos, que se muestran a continuación, se puede clasificar los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, permitiendo así corroborar una secuencia estratigráfica del subsuelo en evaluado. En

la superficie, el terreno consultado presenta una capa orgánica y vegetal con un espesor promedio de 0.65 metros. En el tramo intermedio de 3 a 5 metros aproximadamente, existe una capa de arcilla y limos de colores café con alta plasticidad en presencia de arenas finas, con consistencia que va desde rígida a muy rígida. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico de cada sondeo, para una visión más clara e integral del subsuelo, fundamental para la planificación y ejecución del proyecto de la línea de subtransmisión trifásica a 69 kV.

En la figura 3.2 se observa a una profundidad de 1.00 metro, se localiza el nivel del suelo. El perfil estratigráfico detalla lo siguiente:

- A 0.50 metros de profundidad hay una capa de lastre utilizada para el relleno.
- Este material está bien compactado.
- Los conglomerados pueden medir hasta 10 cm de tamaño.
- No se encuentran raíces, lo que muestra que no hay vegetación subterránea.
- También hay una capa de limo arenoso con conglomerados de hasta 5 cm.
- Esta capa tiene un poco de humedad, lo que puede afectar al soporte del suelo.

**Figura 3.2:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-1.

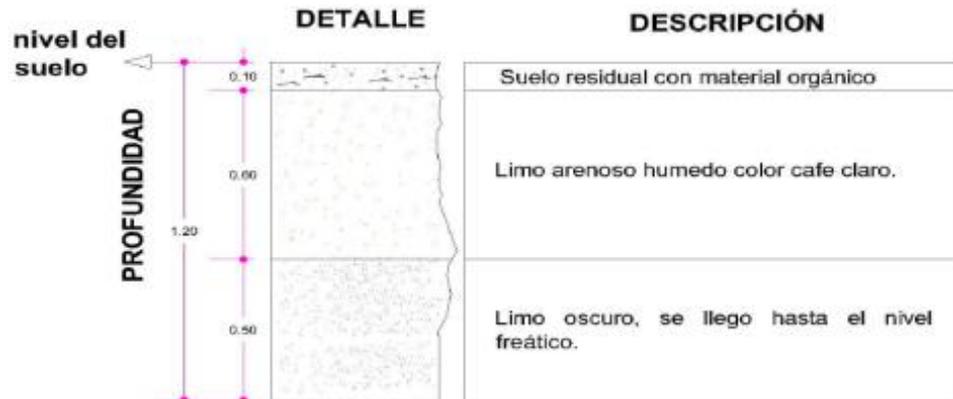


Nota: Examen de suelo tipo Limo arenoso. Elaborada por: Autor

En la figura 3.3 se observa a una profundidad de 1.20 metros, se encuentra el nivel del suelo. A continuación, se detalla la composición estratigráfica:

- 0.10 metros: Capa superficial con material orgánico.
- 0.60 metros: Estrato de limo arenoso húmedo de color café claro.
- 0.50 metros: Capa inferior de limo oscuro, alcanzando el nivel freático.

**Figura 3.3:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-2.



Nota: Examen de suelo tipo Limo arenoso oscuro y húmedo. Elaborada por: Autor

En la figura 3.4 se observa a una profundidad de 1.00 metro, se localiza el nivel del suelo. El perfil estratigráfico detalla lo siguiente:

- 0.40 metros: Capa superficial de suelo residual con material orgánico, compuesto principalmente por limo arenoso de color café claro.
- 0.60 metros: Estrato inferior de arena limosa de color café, ligeramente húmeda, con la presencia notable de raíces pequeñas.

**Figura 3.4:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-3.



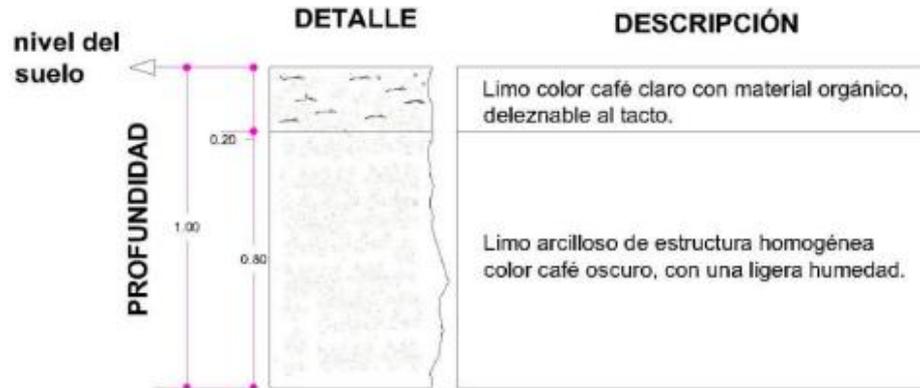
Nota: Examen de suelo tipo Arena limosa y limo café. Elaborada por: Autor

En la figura 3.5 se observa a una profundidad de 1.00 metro, se encuentra el nivel del suelo, caracterizado por el siguiente perfil estratigráfico:

- 0.20 metros: Capa superficial de limo color café claro con alto contenido de material orgánico, deleznable al tacto.

- 0.80 metros: Estrato inferior de limo arcilloso de estructura homogénea, de color café oscuro y con una ligera humedad.

**Figura 3.5:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-4.



Nota: Examen de suelo tipo Limo arcilloso café oscuro y claro. Elaborada por: Autor

En la figura 3.6 se observa a una profundidad de 1.00 metro, se observa el nivel del suelo con el siguiente perfil estratigráfico detallado:

- 0.10 metros: Capa superficial de arena limosa de color café con presencia de material orgánico.
- 0.40 metros: Estrato de arena limosa de estructura homogénea, de color café oscuro y con una ligera humedad.
- 0.50 metros: Capa inferior de limo arcilloso de estructura homogénea, de color pardo, con alta humedad y sin presencia de raíces.

**Figura 3.6:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-5.

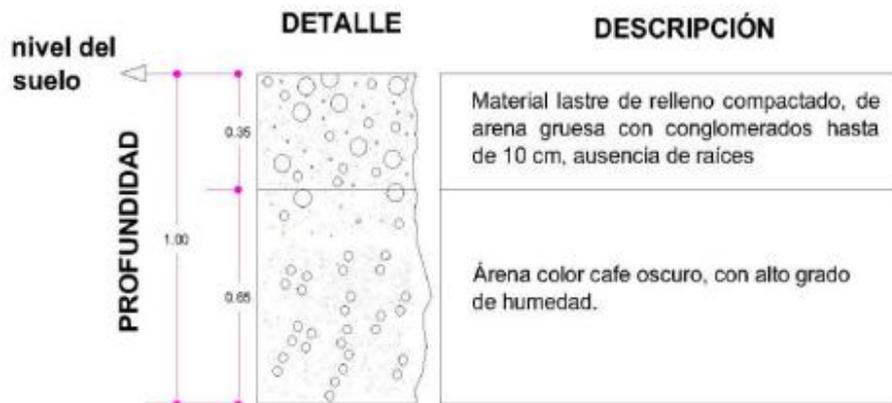


Nota: Examen de suelo tipo Arena limosa y arcillosa de estructura homogénea. Elaborada por: Autor

En la figura 3.7 se observa a una profundidad de 1.00 metro, se encuentra el nivel del suelo, caracterizado por el siguiente perfil estratigráfico detallado:

- 0.35 metros: Capa superficial de material lastre de relleno compactado, está compuesto por arena gruesa con conglomerados hasta 10 cm de tamaño, y sin la presencia de raíces.
- 0.65 metros: Estrato inferior de arena color café oscuro.

**Figura 3.7:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-6.

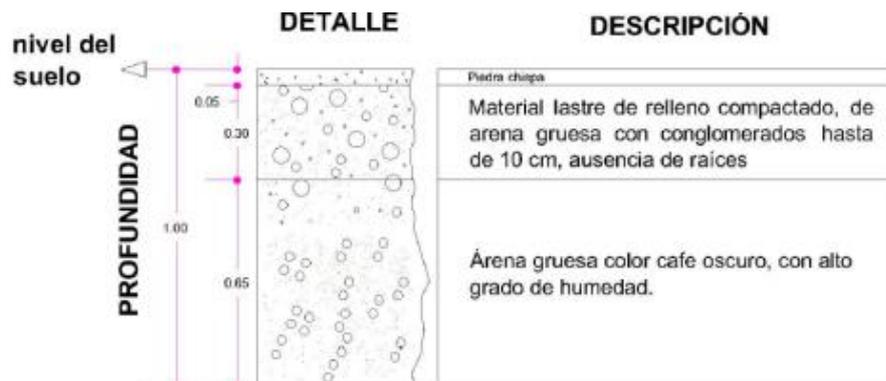


Nota: Examen de suelo tipo Arena café con un gran porcentaje de humedad. Elaborada por: Autor

En la figura 3.8 se observa a una profundidad de 1.00 metro, se encuentra el nivel del suelo, con el siguiente perfil estratigráfico detallado:

- 0.05 metros: Capa superficial de piedra chispa.
- 0.30 metros: Material lastre de relleno compactado, compuesto por arena gruesa con conglomerados de hasta 10 cm de tamaño, y sin presencia de raíces.
- 0.65 metros: Estrato inferior de arena gruesa color café oscuro.

**Figura 3.8:** Análisis del suelo y profundidad muestra V-7.



Nota: Examen de suelo tipo Arena gruesa café oscura sin presencia de raíces. Elaborada por: Autor

### **3.2 Análisis de resistividad para sistema de puesta a tierra para la línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces**

Un factor determinante e imprescindible para el diseño óptimo de las instalaciones de puesta a tierra de las estructuras de la línea de subtransmisión de 69 kV en el trayecto Baba – Vinces es un parámetro exacto de la resistividad del terreno en el caso de este trayecto. La propia resistividad es un atributo inherente de los materiales y define su resistencia al movimiento de los electrones, esta resistividad suele variar a límites significativos en función de la composición y estado del suelo.

Para garantizar una representación exacta de las resistividades del terreno en el caso del trayecto Baba – Vinces, se han realizado mediciones completas en puntos críticos ubicados en todo el alcance de la línea. Las mediciones se han realizado en todas las esquinas entre vértices de doble circuito y en una serie de puntos entre esquinas, lo que garantiza una cobertura completa y objetivo del terreno.

El equipo que se ha utilizado para realizar las mediciones es un FLUKE Earth/Ground Tester 1625-2. Las mediciones se han realizado mediante el método de Wenner “cuatro puntas” el cual consiste en realizar las conexiones para medición que se muestran en la figura 2. Se han realizado dos mediciones por sitio, una a lo largo del eje de la línea de Subtransmisión y otra en la perpendicular al eje de la línea de Subtransmisión.

#### **3.2.1 Resultados de resistividad**

Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla A1 de los anexos 2, en la misma se pueden encontrar:

- Sitio de la medición
- Coordenadas GPS del sitio
- Medidas de resistencia obtenidas por el FLUKE 1625-2
- Distancia entre las puntas ( $a$ )
- Resistividad del terreno obtenida mediante la fórmula:  $\rho = 2\pi aR$

**Donde:**

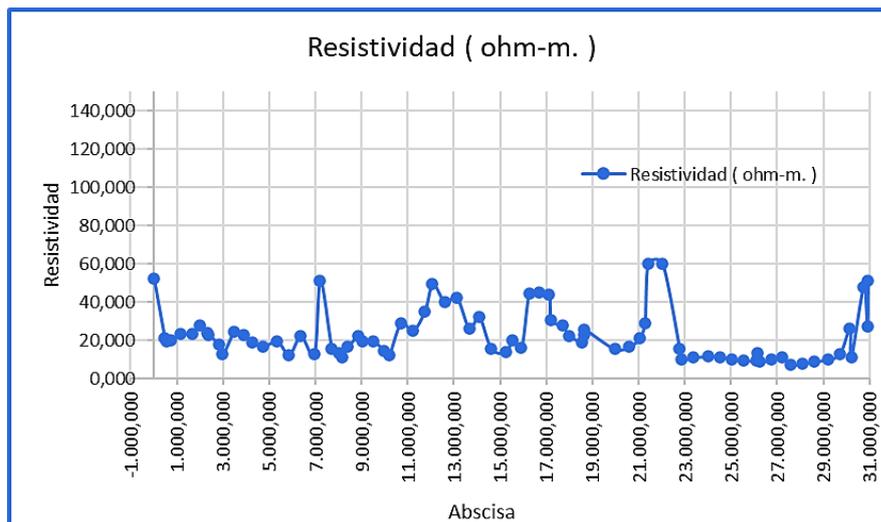
- $a$  = Distancia entre puntas

- $R$  = Resistencia medida

En la tabla A1 de medidas de resistencia en ohm, además del cálculo de resistividad en ohm-metro de diferentes puntos de una línea de subtransmisión de 69 kV entre Vinces y Baba. Cada punto contiene dos medidas de resistencia, una de avance y la otra a 90 grados, y sus respectivos cálculos de resistividad. Para cada ubicación, se presenta el promedio de resistividad de ambos ángulos, así como la abscisa en metros a lo largo de la línea. Se puede observar que las mediciones de resistencia varían con respecto al punto, existiendo valores más bajos cerca de las subestaciones y variando a lo largo de la línea, lo que implica que las condiciones del suelo y las estructuras de la línea son diferentes.

En base a estas mediciones como se observa en la figura 3.9 se puede realizar un perfil de resistividad de la línea de transmisión del cual se puede extrapolar la resistencia de puesta a tierra para todas las estructuras de la línea de transmisión.

**Figura 3.9:** Análisis del resistividad del suelo.



Nota: Variación de resistividad en base al tipo de suelo. Elaborada por: Autor

### 3.2.2 Requerimiento de puesta a tierra

Las descargas atmosféricas que impactan en las líneas de Subtransmisión de energía eléctrica para que no produzcan sobre voltajes que superen el nivel de aislamiento de las cadenas de aisladores, deben descargar a tierra por medio de las estructuras de acero, postes con las conexiones de puesta a tierra de estas. Del estudio

de coordinación de aislamiento se ha limitado que la máxima resistencia óhmica, que se puede permitir en el sistema de puesta a tierra conectado a las torres es de  $5\Omega$  (ohmio). Luego de que se realizaron las medidas de resistividad eléctrica de los terrenos por donde cruza la LST, se observó que el diseño de puesta a tierra debe cubrir una gran gama de valores y esquemas de instalación.

### 3.2.2.1 Esquemas y cálculos del sistema de puesta a tierra

Se considerará cuatro tipos de instalación de puesta a tierra:

- **Tipo 1:** Son 1 varilla de copperweld de 3m de longitud y 5/8" de diámetro enterrada en su totalidad y conectada a la estructura mediante cable.
- **Tipo 2:** Son 2 varillas de copperweld de 3m de longitud y 5/8" de diámetro enterradas en su totalidad, conectadas a la estructura mediante cable de copperweld en distintos STUBS y separadas por 4m. entre ellas.
- **Tipo 3:** Son 4 varillas de copperweld de 3m de longitud y 5/8" de diámetro enterradas en su totalidad, conectadas a la estructura mediante cable de copperweld en distintos STUBS y separadas por 4m. entre ellas.
- **Tipo 4:** Contrapesos de cable de copperweld de 2/0AWG, la longitud del contrapeso indicara si el tipo de instalación es del tipo 4A (20m.), 4B (40m) o 4C (60m), la misma que utilizara de acuerdo con la resistividad del terreno.

### 3.2.2.2 Instalación tipo 1 para el sistema de puesta a tierra

Usando una instalación de puesta a tierra del tipo 1, la resistencia de puesta a tierra  $R$  que se obtiene en un terreno de resistividad  $\rho$ , esto lo indica Rosado, 2015, respecto a la fórmula 1 que se presenta a continuación:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \quad \text{Formula 1}$$

En donde:

- $l$  = longitud de la varilla en metros = 3.00m.
- $a$  = radio de la varilla en metros = 0.00794m.

De lo cual se puede indicar que el valor máximo de  $\rho$  en el cual se puede utilizar esta instalación de puesta a tierra para que  $R$  sea inferior a  $5\Omega$  es de:  $14\Omega - m$

### 3.2.2.3 Instalación tipo 2 para el sistema de puesta a tierra

Usando una instalación de puesta a tierra del tipo 2, la resistencia de puesta a tierra  $R$  que se obtiene en un terreno de resistividad  $\rho$  está dada por la Formula 1:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left( \frac{2l}{\sqrt{aS}} \right)$$

En donde:

- $l$  = longitud de la varilla en metros = 3.00m.
- $a$  = radio de la varilla en metros = 0.00794m.
- $S$  = Separación entre varillas = 4m.

De lo cual se puede indicar que el valor máximo de  $\rho$  en el cual se puede utilizar esta instalación de puesta a tierra para que  $R$  sea inferior a  $5 \Omega$  es de:  $27 \Omega - m$

### 3.2.2.4 Instalación tipo 3 para el sistema de puesta a tierra

Usando una instalación de puesta a tierra del tipo 3, la resistencia de puesta a tierra  $R$  que se obtiene en un terreno de resistividad  $\rho$  está dada por la Formula 1:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left( \frac{2l}{\sqrt[4]{\sqrt{2}aS^2}} \right)$$

En donde:

- $l$  = longitud de la varilla en metros = 3.00m.
- $a$  = radio de la varilla en metros = 0.00794m.
- $S$  = Separación entre varillas = 4m.

De lo cual se puede indicar que el valor máximo de  $\rho$  en el cual se puede utilizar esta instalación de puesta a tierra para que  $R$  sea inferior a  $5 \Omega$  es de:  $42 \Omega - m$

### 3.2.2.5 Instalación tipo 4 para el sistema de puesta a tierra

Usando una instalación de puesta a tierra del tipo 4, la resistencia de puesta a tierra  $R$  que se obtiene en un terreno de resistividad  $\rho$  está dada por la Formula 1:

$$R = \frac{\rho}{\pi l} \left[ \ln \left( \frac{2l}{4ad} \right) - 1 \right]$$

En donde:

- $l$  = longitud del contrapeso en metros.
- $a$  = radio del cable del contrapeso = 0.00463m.

- $d$  = Profundidad de enterramiento = 0.50m.

Para un contrapeso de 20m. el valor máximo de  $\rho$  en el cual se puede utilizar esta instalación de puesta a tierra (4A) para que  $R$  sea inferior a  $5\Omega$  es de:  $62\Omega - m$ . Para un contrapeso de 40m. el valor máximo de  $\rho$  en el cual se puede utilizar esta instalación de puesta a tierra (4B) para que  $R$  sea inferior a  $5\Omega$  es de:  $110\Omega - m$ . Para un contrapeso de 60m. el valor máximo de  $\rho$  en el cual se puede utilizar esta instalación de puesta a tierra (4C) para que  $R$  sea inferior a  $5\Omega$  es de:  $155\Omega - m$ . Las instalaciones de puesta a tierra deberán ser escogidas según la tabla 3.2

**Tabla 3.1:** Cuadro de tipos de puesta a tierra a emplear

Instalación de Puesta a Tierra	Resistividad del Terreno (ohm-m)
Tipo 1	0 - 14
Tipo 2	14 - 27
Tipo 3	27 - 42
Tipo 4A	42 - 62
Tipo 4B	62 - 110
Tipo 4C	110 - 155

Elaborada por: Autor

De las mediciones de resistividad del terreno y el diseño de puesta a tierra, se obtiene una aplicación de diseño para cada estructura de la línea de subtransmisión como se observa en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2:** Ubicación de estructuras con tipo de puesta a tierra a instalar

Estructura	Promedio (Ohmios)	Tipo	Coordenadas	Observación	Abscisa (m)
V-6	12,818	Tipo 1	9803415,864 S 645460,632 E	Torre	3087,59
V-8 P4	13,998	Tipo 1	9805378,679 S 643780,187 E	Poste	6564,44

<b>V-8 P5</b>	13,054	Tipo 1	9805441,605 S 643723,156 E	Poste	6649,36
<b>V-9</b>	13,069	Tipo 1	9806315,214 S 642931,391 E	Torre	7829,91
<b>V-4</b>	22,883	Tipo 2	9802961,708 S 645808,094 E	Torre	2486,89
<b>V-5</b>	17,719	Tipo 2	9803270,246 S 645482,691 E	Torre	2938,95
<b>V-6 P1</b>	15,708	Tipo 2	9803444,207 S 645391,194 E	Poste	3175,84
<b>V-6 P2</b>	18,598	Tipo 2	9803477,554 S 645309,492 E	Poste	3264,08
<b>V-8</b>	19,985	Tipo 2	9805134,329 S 644001,645 E	Torre	6224,74
<b>V-9 P1</b>	20,12	Tipo 2	9806401,252 S 642939,903 E	Poste	7916,37
<b>V-0 P1</b>	29,12	Tipo 3	9801923,493 S 647408,968 E	Poste	208,05
<b>V-9 P2</b>	32,192	Tipo 3	9806487,291 S 642948,415 E	Poste	8002,83
<b>V10</b>	51,409	Tipo 4A	9806573,329 S 642956,927 E	Torre	8072,83

Elaborada por: Autor

### 3.3 Estudio de aislamiento para la línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces

El estudio de coordinación de aislamiento de una línea de transmisión determina de una manera probabilística los niveles máximos de sobre voltaje que pueden incidir sobre una línea de transmisión y el aislamiento necesario que debe existir entre los conductores y las estructuras para impedir que estos sobre voltajes afecten el normal funcionamiento de la línea de transmisión. Del estudio se desprenden dos aspectos fundamentales de la línea de transmisión: Las dimensiones y propiedades del aislador (también denominado cadena de aisladores) a utilizar entre el conductor y la estructura, las distancias mínimas que el conductor debe de guardar con respecto a tierra (estructura).

El método de cálculo es el normalizado para el Ecuador y fue establecido en 1978 por el entonces Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) en sus normas de diseño para líneas de 69kV. Esta norma establece que se deben considerar tres tipos de sobre voltaje:

- Sobre voltaje a frecuencia industrial
- Sobre voltaje de maniobra
- Sobre voltaje de origen atmosférico.

Tomando en cuenta que esto sobre voltajes se puede producir en cualquier punto de la línea de transmisión, se debe realizar correcciones probabilísticas en relación con el número aproximado de estructuras de la línea de transmisión y las condiciones atmosféricas. Además, la norma indica que se debe realizar el cálculo de la distancia de fuga mínima que deben tener los aisladores debido a la contaminación.

### 3.3.1 Sobre voltaje a frecuencia industrial

La norma indica que el sobre voltaje a frecuencia industrial corresponde al 5% del voltaje pico, esto lo indica Louis, 2013, respecto a la fórmula 2 que se presenta:

$$V_{FI} = 1.05 * V_{peak} \quad \text{Fórmula 2}$$

$$V_{FI} = 1.05 * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{ff}$$

$$V_{FI} = 1.05 * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 69kV = 59.16kV$$

#### 3.3.1.1 Corrección Probabilística

De acuerdo con la norma, “El aislamiento tiene que resistir con un probabilidad rango de probabilidad que ronda el 97%, teniendo en cuenta el número total de estructuras y para una desviación estándar del 6% del voltaje critico (CFO Critical Flashover Overvoltage)” (CNEL, 2020). Para 371 estructuras sin incluir los pórticos, esto lo indica Kuffel et al., 2000 , respecto a la fórmula 3 que se presenta:

$$\sigma_s = 3.8$$

$$V_{Tolerado}(0.97) = CFO_{(p)} - 3.8\sigma \quad \text{Fórmula 3}$$

Mientras que la norma nos indica que la desviación estándar es el 6% del CFO:

$$\sigma = 0.06CFO_{(p)}$$

Remplazando en (9):

$$V_{Tolerado}(0.97) = CFO_{(p)} - 3.8 * 0.06 * CFO_{(p)}$$

En donde el sobre voltaje de frecuencia industrial el que debe ser tolerado con una probabilidad del 97%:

$$59.2kV. = CFO_{(p)} - 3.8 * 0.06 * CFO_{(p)}$$

De donde se obtiene que el sobre voltaje crítico (CFO) que debe soportar es:

$$CFO_{(p)} = \frac{59.2kV}{(1-3.8*0.06)} = 76.68kV.$$

### 3.3.1.2 Corrección para Condiciones Atmosféricas

La teoría indica que la capacidad de los aisladores disminuye con relación a la altura por lo que el CFO que se debe especificar para la coordinación de aislamiento debe ser corregida, esto lo indica Hileman, 2000 , respecto a la fórmula 4 que se presenta:

$$CFO_{atm} = \frac{CFO_{(p)} * H}{\delta * K} \quad \text{Fórmula 4}$$

En donde:

- $H$  = Factor de corrección por humedad = 0.95
- $K$  = Factor de corrección por lluvia = 0.95
- $\delta$  = Densidad Relativa.

La densidad relativa,  $\delta$ , esto lo indica Career, 2016, respecto a la fórmula 5 es:

$$\delta = \frac{3.92 * b}{273 + t} \quad \text{Fórmula 5}$$

Donde  $b$  es igual a la presión atmosférica en mm. de Hg. y  $t$ , es la temperatura ambiente en °C. La presión atmosférica a una altura determinada,  $h$ , está dictada por Stax, 2022:

$$\log(b) = \log(76) - \frac{h}{18336} \quad \text{Fórmula 6}$$

La línea de subtransmisión Vines Baba atravesara una altura de 15 msnm. con temperaturas promedio de 26 °C. Remplazando los valores en las fórmulas anteriores, obtenemos que:

$$CFO_{atm} = \frac{76.68kV}{0.99} = 77.45kV.$$

El aislamiento debe ser capaz de soportar un sobrevoltaje a frecuencia industrial (60Hz) igual a  $CFO_{atm}$ .

### 3.3.1.3 Espaciamiento en Aire

Tomando en cuenta el sobrevoltaje a frecuencia industrial, se deben designar las distancias mínimas que el conductor debe guardar con respecto a tierra. La norma indica: “El aislamiento deberá resistir el voltaje crítico con una desviación normal igual al 3% en condiciones secas” (CNEL, 2020). Tomando en cuenta el voltaje de frecuencia industrial y usando un procedimiento similar al utilizado, tenemos que:

$$CFO = \frac{59.2kv}{1-3.8*0.03}$$

$$CFO = 66.82kV.$$

Aplicando la corrección para condiciones atmosféricas, tenemos que:

$$CFO_{atm} = \frac{CFO * H}{\delta * K}$$

$$CFO_{atm} = \frac{66.82kV}{0.99}$$

$$CFO_{atm} = 67.5kV.$$

La “Capacidad de aislamiento de espaciamentos en aire para voltajes A-C” se tiene que un CFO como el de (22) tiene un espaciamiento mínimo de 0.30m:

$$d_{ft} = 0.30m.$$

### 3.3.2 Sobre voltaje de maniobra

La normativa indica que: “El sobre voltaje a ser resistidos por la aislamiento serán de 3 p.u. (por unidad) del valor cresta del voltaje nominal a tierra” (Inmr, 2024).

$$V_m = \frac{\sqrt{2} * 69kV}{\sqrt{3}} * 3 \rightarrow 3$$

Fórmula 7

$$V_m = 169kV$$

#### 3.3.2.1 Corrección Probabilística

Según la norma, “La probabilidad que el aislamiento resista será de 97.7 % y el valor de la desviación normal se tomará como igual al 5 % del voltaje crítico y se considerará que la lluvia disminuye a este último en un 5 % “ realizando un procedimiento similar realizado, con  $\sigma = 0.05CFO$  obtenemos que:

$$CFO = \frac{V_m}{1-3.8*0.05}$$

$$CFO = 208.64kV.$$

### 3.3.2.2 Corrección por condiciones atmosféricas

Tomando el mismo procedimiento anterior, se obtiene:

$$CFO_{atm} = \frac{CFO * H}{\delta * K}$$

$$CFO_{atm} = \frac{208.64kV}{0.99}$$

$$CFO_{atm} = 210.75kV.$$

### 3.3.2.3 Espaciamiento en Aire

Relacionando él  $CFO_{atm}$  con la capacidad de aislamiento de las distancias del aire de la Figura 5.5 “Capacidad de aislamiento de espaciamentos en aire para voltajes de impulso” se tiene que:

$$D_{ft} = 0.65m.$$

### 3.3.3 Sobrevoltaje de origen atmosférico

La corriente que se crea en las estructuras de las líneas de subtransmisión cuando las descargas atmosféricas se realizan sobre las mismas, producen sobre voltajes para los cuales el aislamiento debe estar diseñado. El sobre voltaje que se produce a raíz de las descargas atmosféricas se relaciona directamente con la instalación de puesta a tierra. Para este caso, la resistencia a pie de los poste - torre será como máximo de  $5\Omega$ , valor máximo asumido por CNEL en las líneas de 69V construidas en la costa ecuatoriana. El cálculo del sobre voltaje de origen atmosférico se basa en un cálculo probabilístico que tiene como parámetros de entrada los siguientes datos:

- Voltaje nominal: 69 kV
- Temperatura ambiente: 26 °C
- Nivel cerámico ( $N$ ): 30
- Número de fallas aceptables ( $F$ ): 0.625 por 100 Km. de L/T por año
- Longitud de la LST ( $L$ ): 31 km ( distancia entre LST ente S/E Vince y S/Baba)
- Resistencia de puesta a tierra ( $R$ ): 5 ohm
- Altura promedio del cable de guardia ( $h$ ): 18m.

- Angulo de Apantallamiento ( $\alpha$ ):  $30^\circ$

El número de descargas por  $Km^2$  en un año está dado por:

$$N_g = 0.025N^{1.3}$$

$$N_g = 2.08$$

De igual manera, el número de descargas por cada 100Km. De LST ( $N_s$ ), , esto lo indica Verdolin, 2015, respecto a la fórmula 8 que se presenta a continuación:

$$N_s = N_g \left( \frac{4h+b_1}{10} \right) \left( \frac{L}{100} \right) \quad \text{Fórmula 8}$$

$$N_s = 3.87$$

**Dónde:**

- $b_1$  = distancia entre hilos de guardia, para el caso de esta línea valor = 0
- $h$  = altura promedio de las estructuras de soporte

Con este valor se puede estimar las fallas en la LST debido a las limitaciones en el apantallamiento, tomando en cuenta que una falla por apantallamiento se relaciona con la altura del cable de guardia. La “Probabilidad de fallo del apantallamiento en función del ángulo de apantallamiento” se tiene que la probabilidad de falla es de:

$$P_1 = 0.01$$

Por lo cual el número de fallas en el apantallamiento en 100Km de línea, esto lo indica Mech, 2022, respecto a la fórmula 9 que se presenta a continuación:

$$F_1 = N_s P_1 \quad \text{Fórmula 9}$$

$$F_1 = 0.0387$$

Dado que el número tolerable de fallas  $F$  en 100 Km de línea es igual a 0.625, el número permitido de fallas del aislamiento es igual a:  $F = 0.625$

$$F_{ais} = F - F_1$$

$$F_{ais} = 0.586$$

Si:

$$F_{ais} = \frac{N_s P_{ais}}{2.9}$$

Entonces:

$$P_{ais} = 0.44$$

Con esta probabilidad de fallo del aislamiento se obtiene que la corriente de rayo  $I_m$  es igual a:

$$I_m = 45kA$$

De donde el voltaje de que se produce debido a esta corriente, esto lo indica Charles & Matthew, 2014, respecto a la fórmula 11 que se presenta a continuación:

$$V_m = (1 - C) * R * I + V_{peak} \quad \text{Fórmula 11}$$

Para lo cual  $C$  es igual al factor de acoplamiento que se calcula mediante:

$$C = \frac{50}{Z_n} \ln \frac{b}{a}$$

**Donde:**

- $Z_n$  = Es la impedancia que posee un conductor en este caso de guardia, de 500  $\Omega$ .
- $b$  = Es distancia del cable a mayor altura y la del conductor de guardia de 36 m.
- $a$  = distancia entre el conductor más alto y el Cable de guardia = 1.6 m

Entonces:

$$C = \frac{50}{Z_n} \ln \frac{b}{a} = 0,311$$

Tenemos que:

$$V_m = 211.365kV$$

### 3.3.3.1 Corrección Probabilística

Realizando un procedimiento similar al realizado, con  $\sigma = 0.02CFO$  y para 400 estructuras obtenemos que:

$$CFO = \frac{V_m}{1 - 3.6 * 0.02}$$

$$CFO = 227.78kV.$$

### 3.3.3.2 Corrección por condiciones atmosféricas

Tomando el mismo procedimiento, se obtiene:

$$CFO_{atm} = \frac{CFO * H}{\delta * K}$$

$$CFO_{atm} = \frac{227.78kV}{0.99} = 230kV$$

### **3.4 Presupuesto referencial construcción de línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces**

#### **3.4.1 Presupuesto electromecánico de la línea de Transmisión**

El objeto de este subtema es la evaluación económica de construcción de una línea trifásica a 69 kV Baba-Vinces. A continuación, se presenta el presupuesto referencial electromecánico en subestaciones, desglosado en suministros y montaje.

#### **Suministros:**

##### **1. Disyuntor tripolar para 69 kV tipo tanque muerto:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$73,176.00
- Precio Total: \$146,352.00

##### **2. Seccionador tripolar montaje vertical, motorizado, con cuchillas de puesta a tierra:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$17,016.24
- Precio Total: \$34,032.48

##### **3. Seccionador tripolar montaje horizontal, motorizado, sin cuchillas de puesta a tierra:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$18,061.39
- Precio Total: \$36,122.78

##### **4. Seccionador tripolar montaje vertical, motorizado, sin cuchillas de puesta a tierra:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$18,061.39
- Precio Total: \$36,122.78

##### **5. Pararrayos tipo S/E 60 kV con contador de descargas:**

- Cantidad: 6 unidades
- Precio Unitario: \$2,208.61

- Precio Total: \$13,251.66

**6. Transformadores de potencial tipo inductivo con estructura metálica de soporte:**

- Cantidad: 6 unidades
- Precio Unitario: \$9,840.00
- Precio Total: \$59,040.00

**7. Tablero de control, protección y medición para línea de subtransmisión de 69 kV:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$42,720.00
- Precio Total: \$85,440.00

**8. Tablero para sistema SCADA y comunicaciones:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$18,000.00
- Precio Total: \$36,000.00

**9. Tablero para servicios auxiliares en corriente continua y alterna:**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$11,928.16
- Precio Total: \$23,856.32

**10. Cargador de baterías:**

- Cantidad: 1 unidad
- Precio Unitario: \$9,000.00
- Precio Total: \$9,000.00

**11. Banco de baterías:**

- Cantidad: 1 unidad
- Precio Unitario: \$14,880.30
- Precio Total: \$14,880.30

**12. Conductor de cobre desnudo, 19 hilos, calibre 2/0 AWG:**

- Cantidad: 100 metros
- Precio Unitario: \$9.22
- Precio Total: \$922.00

**13. Cable de cobre multipolar tipo ST 2x12 AWG, aislado para 600 V:**

- Cantidad: 400 metros
- Precio Unitario: \$1.50
- Precio Total: \$600.00

**14. Cable de cobre multipolar tipo ST 3x10 AWG, aislado para 600 V:**

- Cantidad: 200 metros
- Precio Unitario: \$3.21
- Precio Total: \$642.00

**15. Cable de cobre multipolar tipo ST 2x4 AWG, aislado para 600 V:**

- Cantidad: 15 metros
- Precio Unitario: \$7.10
- Precio Total: \$106.50

**16. Cable de control de cobre aislado para 600 V, cableado, 4x14 AWG:**

- Cantidad: 500 metros
- Precio Unitario: \$3.21
- Precio Total: \$1,605.00

**17. Cable de control de cobre aislado para 600 V, cableado, 10x14 AWG:**

- Cantidad: 499 metros
- Precio Unitario: \$6.03
- Precio Total: \$3,008.97

**Montaje:**

- El costo de montaje e instalación de un disyuntor tripolar para 69kV, tipo tanque muerto, 72.5kv es de \$1,870.98, por dos es de \$3,741.96.

- El costo de montaje e instalación de seccionador tripolar para 69kV, montaje vertical, motorizado, con cuchillas de puesta a tierra por dos de \$1,248.18, es de \$2,496.36 en total.
- El precio de montaje e instalación de seccionador tripolar, 69Kv, mordaza horizontal, motorizado, sin cuchillas de puesta a tierra por dos es de \$1,248.18 por unidad, con una totalidad de \$2,496.36.
- El costo de montaje e instalación de pararrayos tipo subestación 60Kv por seis es de \$1,152.46 el cual al multiplicar por seis da un total de \$ 6,914.768.
- El costo de montaje e instalación de transformadores de potencia monofásicos para 69Kv por seis es de \$1,311.25 con un total de \$7,867.50.
- El costo de montaje e instalación de tableros de control de línea de 69kv por dos es de \$2,166.14 con un resultado de \$4,332.28.
- El costo de montaje e instalación de tablero de comando para SCADA por dos es de \$1,572.08 con una capacidad de \$3,144.16.
- El costo de montaje e instalación de tablero auxiliar de corriente continua y alterna por dos es de \$1,036.85 con una capacidad de \$2,073.70.
- El precio de montaje e instalación de cargadores de baterías por dos es \$1,024.26 que dan un total de \$2,048.52 capacidad.
- El costo de montaje e instalación de unidades bancarias cuya capacidad dada es de \$1,060.85 precio por unidad dando un resultado de \$2,121.70.
- Montaje adecuación y reparación de malla de puesta a tierra por dos es de \$3,815.11 con una capacidad de \$7,630.22.
- El costo de conexionado general equipos a malla por dos es de \$3,603.67.
- Barras patio de 69 kV en S/E Baba (incluye suministro de cables, herrajes y accesorios): Una unidad a \$21,702.08.
- Barras 69 kV S/E Vinces (incluye suministro de cables, herrajes y accesorios): Una unidad a \$21,702.08.
- Cableado de control y protección entre equipos y tableros en S/E Terminal Terrestre: Una unidad a \$6,060.42.
- Cableado de control y protección entre equipos y tableros en S/E Inpaecsa: Una unidad a \$6,060.42.
- Suministro e instalación de equipos de aire acondicionado: Dos unidades a \$1,274.86 cada una, sumando \$2,549.72.

- Pruebas en las subestaciones: Una unidad a \$7,468.77.

### **3.4.2 Presupuesto eléctrico de la línea de Transmisión**

El objeto de este subtema es la evaluación económica de construcción eléctrica de la línea trifásica de 69 kV que conecta Baba con Vinces.

#### **1. Estructura tipo S-1-G:**

- Cantidad: 317 unidades
- Precio Unitario: \$1,493.75
- Precio Total: \$473,518.75

#### **2. Estructura tipo RU-1-G:**

- Cantidad: 5 unidades
- Precio Unitario: \$3,870.16
- Precio Total: \$19,350.80

#### **3. Estructura tipo AU-1-90°-G:**

- Cantidad: 47 unidades
- Precio Unitario: \$2,376.70
- Precio Total: \$111,704.90

#### **4. Conductor desnudo de aluminio ACAR 500 MCM, 12/7 (trifásico):**

- Cantidad: 30.94831 km
- Precio Unitario: \$19,282.56
- Precio Total: \$596,762.64

#### **5. Cable OPGW de 24 fibras tipo ITU-T-G 652:**

- Cantidad: 30.94831 km
- Precio Unitario: \$2,294.95
- Precio Total: \$71,024.82

#### **6. Amortiguador para conductor ACAR 500 MCM:**

- Cantidad: 2208 unidades
- Precio Unitario: \$44.85

- Precio Total: \$99,028.80

**7. Amortiguador para cable OPGW:**

- Cantidad: 736 unidades
- Precio Unitario: \$40.05
- Precio Total: \$29,476.80

**8. Cable de fibra óptica tipo anti roedores:**

- Cantidad: 0.3 km
- Precio Unitario: \$3,260.85
- Precio Total: \$978.26

**9. Caja de empalme para cable OPGW y fusión de fibras:**

- Cantidad: 55 unidades
- Precio Unitario: \$401.29
- Precio Total: \$22,070.95

**10. Distribuidor óptico (ODF):**

- Cantidad: 2 unidades
- Precio Unitario: \$633.87
- Precio Total: \$1,267.74

**11. Poste rectangular de H°A° de 21 m, 2400 kg de carga de rotura:**

- Cantidad: 251 unidades
- Precio Unitario: \$2,676.38
- Precio Total: \$671,771.38

**12. Poste rectangular de H°A° de 23 m, 2400 kg de carga de rotura:**

- Cantidad: 70 unidades
- Precio Unitario: \$3,060.38
- Precio Total: \$214,226.60

**13. Puesta a tierra con una varilla Copperweld:**

- Cantidad: 88 unidades
- Precio Unitario: \$205.97
- Precio Total: \$18,125.36

**14. Puesta a tierra con dos varillas Copperweld:**

- Cantidad: 190 unidades
- Precio Unitario: \$349.97
- Precio Total: \$66,494.30

**15. Puesta a tierra con tres varillas Copperweld:**

- Cantidad: 55 unidades
- Precio Unitario: \$445.97
- Precio Total: \$24,528.35

**16. Puesta a tierra con cuatro varillas Copperweld:**

- Cantidad: 36 unidades
- Precio Unitario: \$541.97
- Precio Total: \$19,510.92

**17. Señal de peligro:**

- Cantidad: 369 unidades
- Precio Unitario: \$56.32
- Precio Total: \$20,782.08

**18. Señal de numeración:**

- Cantidad: 369 unidades
- Precio Unitario: \$56.32
- Precio Total: \$20,782.08

**19. Baliza:**

- Cantidad: 369 unidades
- Precio Unitario: \$132.45

- Precio Total: \$48,874.05

### **3.4.3 Presupuesto civil de la línea de Transmisión**

El proyecto de construcción de la línea de transmisión trifásica Baba-Vinces incluye varias actividades de desbroce, desbosque, y limpieza, así como la apertura de caminos, cuya longitud total es de 30.20 km. Este proceso tiene un costo de \$887.11 por kilómetro, resultando en un total de \$26,790.72.

En esta unidad, así incluye el replanteo de estructuras de 300 unidades a un costo de \$12,669.00 el costo unitario es de \$42.23, se incluye la instalación de postes mediante excavaciones manual y mecánica. La primera por 835 metros cúbicos a un costo unitario de \$9.68 total de \$8,082.80. La segunda se aplica a 6148 metros cúbicos y un valor de 10.58 por metro cubico total \$65,045.8, relleno y compactación con material del sitio 8,000 metros cúbicos a costo de 19.17 por metro cubico total 15336 al igual que relleno con material de relleno compactado 10,742 metros cúbico, \$26,749.32 con una apertura de entrada 6200 para camino de \$16.78 por metro total de \$104036.03, desalojo del material sobrante 100 metros cúbico a \$11.03 por metro cúbico con un total \$1,103.00.

La instalación de acero de refuerzo se estima en 54,000 kilogramos a \$2.59 por kilogramo, totalizando \$139,860.00. Para la construcción con hormigón simple, se contempla un volumen de 940 metros cúbicos a \$229.45 por metro cúbico, resultando en \$215,683.00, y para hormigón con una resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup> para bases de equipos eléctricos, se estiman 12 metros cúbicos a \$316.95 por metro cúbico, totalizando \$3,803.40. La demolición y desalojo de estructuras de hormigón armado involucra 12 metros cúbicos a un costo de \$37.97 por metro cúbico, sumando \$455.64.

En cuanto a las estructuras metálicas, se contempla el uso de acero de alta resistencia para castillos de 69 kV, con un peso de 23,250 kilogramos a \$3.28 por kilogramo, totalizando \$76,260.00, y para torres metálicas a 69 kV, se estiman 128,185 kilogramos a \$3.28 por kilogramo, con un costo total de \$420,446.80.

En cuanto a la subestación de Baba y Vinces, la sala de tablero de la subestación de Baba se amplía. El trazado y replantillo se extiende en 25 metros cuadrados a razón

de \$2.08 que asciende a \$52.00. La excavación cubre 7 metros cúbicos a \$10.10 por metro cúbico que arroja \$70.70, mientras que el replantillo hormigón simple de 140 kg/cm<sup>2</sup> abarca 0.90 metros cúbicos y vale \$151.94 por metro cúbico que es equivalente a \$136.75. La construcción de plintos hormigón simple de 1 m<sup>3</sup> se realiza a razón de \$399.84 que arroja una cifra de \$399.84. Los muros de piedra base de 20 x 30 equivalen a 0.70 m<sup>3</sup> a \$222.64 por metro cúbico que arroja un total de \$155.85, los de riostras de hormigón armado 20 x 20 abarcan 0.90 m<sup>3</sup> a \$434.89 que es equivalente a \$391.40. En el caso de muro de hormigón armado de 240 kg/cm<sup>2</sup> 5.50 por 15 cm mide 0.10 m<sup>3</sup> y que cuesta \$455.25 que arroja un total de \$45.53. El relleno manual con compactador mediano material del sitio cubre 3.40 m<sup>3</sup> a \$20.29 y que alcanza \$68.99.

En lo que respecta a contrapiso de 210 kg/cm<sup>2</sup> malla electrosoldada 5 x 15, 18 metros cuadrados a \$31.15 por metro cuadrado resultan en \$560.70. Pilares planta baja 0.40 m<sup>3</sup> a \$758.26 por m<sup>3</sup> equivalen a \$303.30, vigas cubierta de planta baja 0.80 m<sup>3</sup> a \$689.83 por m<sup>3</sup> son \$551.86, viguetas de 10 x 20 hormigón armado 7 metros lineales a \$18.03 por metro lineal son \$126.21, pilaretes de 10 x 20 hormigón armado 2 metros lineales a \$17.53 por metro lineal serían \$35.06, paredes interior y exterior con bloques de Alfadomus 10 x 20 x 41 cm 36 metros cuadrados a \$22.95 por metro cuadrado resultan en \$826.20. Enlucido interior- exterior 32 y 36 metros cuadrados a \$9.27 son un total de \$296.64 y \$333.72 respectivamente.

Los cuadrantes de boquetes de puertas y ventanas abarcan 12 y 6 metros lineales a \$7.42 por metro lineal, lo que equivale a \$89.04 y \$44.52. Los filos cubren 15 metros lineales a \$ 4.28 por metro lineal y suman \$64.2. La estructura metálica para cubierta poco abarca 25 metros cuadrados a 24.05 por metro cuadrado siendo el total \$601.25 y la cobertura de Galvalúmen de 0.30 mm de espesor cubre 25 metros cuadrados a 18.67 por metro cuadrado siendo el total \$466.75. Las parrillas metálicas de 0.35 metros lineales abarcan 2 metros lineales a \$26.86 totalizando \$53.72. Los bordillos de concreto simple de 0.20 x 0.40 con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> abarcan 12 metros lineales a \$22.10 por metro lineal equivalente a \$265.2. El concreto de acera paletado de 0.10 metros con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> cubre 12 metros cuadrados a \$ 23.76 por metro cuadrado siendo el total \$285.12.

Por otro lado, el precio de \$41.03 el metro cuadrado el piso de baldosa de granito con juntas resinadas ocupando 18 metros cuadrados igualando \$738.54, con \$4.32 por metro cuadrado empaste interior ocupando 40 metros cuadrados igualando \$172.80, y 40 y 36 metros cuadrados con \$5.53 y \$8.34 empaste interior y pintura elastomérica en interior y exterior equivaliendo a \$221.20 y \$300.24 respectivamente. La provisión y colocación de equipo de climatización de 12000 BTU Split 1 metro cuadrado por \$1,518.65 igual a \$1,518.65. La tapa metálica tol antideslizante 3mm 50×60 1 unidad por \$107.51, \$107.51. El tumbado y perfilería metálica de aluminio blanco 45.94 metros cuadrados \$21.02 cada uno equivalente a \$965.66. La ventana de aluminio y vidrio 6mm 12m, \$119.94 por metro cuadrado \$1,439.28. Puntos de alumbrado, punto tomacorriente de 110 V, punto tomacorriente de 220 V y punto red sin cable 3,3,1 y 1 por \$53.49, \$51.11,\$67.47 y \$1.92 \$160.47,\$153.33,\$67.47 y \$1.92 las cifras respectivas. Iluminación fluorescente 3x20 60×60 y suministro e instalación 2x20 W de luces de emergencia 2 unid por 53.70 y 36.71 equivalente a \$107.40 y \$73.42. Y el derrocamiento de pared 14.50 metros cuadrados a \$16.31 cada uno igualando \$236.50.

Finalmente, las bases de hormigón armado para equipos en subestaciones incluyen actividades de trazador, replanteo, excavación y replantillo de hormigón simple con una resistencia de 140 kg/cm<sup>2</sup>, y relleno manual con compactador mediano y material del sitio, abarcando 70, 22, 1, y 12 metros cuadrados a \$2.08, \$9.68, \$151.94, y \$20.29 por metro cuadrado, resultando en \$145.60, \$212.96, \$151.94, y \$243.48, respectivamente. Las bases de hormigón armado con una resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup> para disyuntores y cuadros de 69 kV abarcan 8.60 metros cúbicos a \$602.77 por metro cúbico, sumando \$5,183.82.

## Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- El estudio presentado proporciona una descripción completa de los tipos de suelo a lo largo de la ruta Baba-Vinces, destacando sus propiedades químicas y físicas, todo lo cual es vital para apreciar claramente las condiciones geológicas.
- Los métodos utilizados para las mediciones de resistividad, mediante el método de Wenner de cuatro puntos, contribuyeron a la adquisición de datos sobre las características eléctricas precisas en las ubicaciones seleccionadas. Dichos datos son críticos en el diseño los sistemas de puesta a tierra de manera que sean efectivos e incluso seguros.
- En función de los resultados de las medidas se diseñaron diferentes sistemas de puesta a tierra cada uno para su rango de resistividad. Se efectuaron los cálculos necesarios para el tamaño de la protección de la línea de subtransmisión 69 kV de esta forma garantizar y adecuar la dimensión de la protección en los diferentes casos de operaciones y contingencias.
- Se realizó un estudio detallado del presupuesto referencial respecto a la construcción de la línea de subtransmisión en cuestión, en donde se considerada la parte eléctrica y la electromecánica de la línea.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda monitorear la resistividad del suelo a lo largo del tiempo, especialmente en áreas críticas. Esto se logrará observando cualquier cambio en las propiedades del suelo y ajustando los planes de tierra en consecuencia.
- Se sugiere revisar periódicamente los tipos de sistemas de protección establecidos para garantizar su correcto funcionamiento, ya que constantemente surgen nuevas técnicas o fórmulas para su redimensionamiento.
- Se recomienda periódicamente actualizar el presupuesto del proyecto para la planificación financiera correcta, ya que con el pasar de los meses los costos de cada uno de los elementos varían, ya sea con el alza o disminución de su valor económico.

## Bibliografías

- Aguilar, D., & Montejo, M. (2020). *Dispositivos electrónicos de potencia: Relés*.  
[https://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo\\_potencia/relés.htm](https://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo_potencia/relés.htm)
- Apliter. (2023, julio 18). *Servicios de suministro eléctrico: Soluciones para generación de energía, subestación/transmisión y distribución*.  
<https://www.apliter.com/blog/soluciones-para-generacion-de-energia/>
- Aquino, J., Robles, A., Fernández, C., & Corona, L. (2020). *CONVERTIDOR BIFÁSICO A TRIFÁSICO PARA EL ACCIONAMIENTO DE MOTORES DE INDUCCIÓN*. 40, 1-19.
- Arana, R. (2020). Cursos UNCP: Líneas Transmisión. *Cursos UNCP*.  
<https://rgaleasunpc.blogspot.com/p/lineastransmision.html>
- Areatecnologia. (2020). *Redes aéreas*. <https://areatecnologia.com/electricidad/redes-aereas-baja-tension.html>
- Arévalo, H. A., & Nossa, N. A. (2022). *Diseño electromecánico de estación automatizada para carga y almacenamiento de bicicletas eléctricas alimentada por un sistema de generación de energía solar fotovoltaica*.  
<https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/9716>
- Atlas. (2020). *La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR) elabora el Atlas del sector eléctrico ecuatoriano 2020*, 138.
- Barbosa, A. F. (2023). *Implementación del sistema de supervisión para la operación de una subestación de media tensión* [bachelorThesis].  
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/36573>
- Bernaola, L. A. (2022). Configuración y regulación de relé de protección para arrancador síncrono en planta de procesos. *Universidad Continental*.  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11348>
- Bocanegra, L. (2022). *Diseño de investigación del análisis técnico comparativo de las subestaciones eléctricas con tecnología GIS y convencionales de 69 kV y su impacto en el monto del peaje en la región central de Guatemala* [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/18123/>

- Career. (2016). *Formula for air density factor*. <https://www.careerride.com/mcq-question.aspx?Id=17243>
- Castillo, S. (2022). *Desarrollo de una plataforma digital inteligente para la estimación de pérdidas en transformadores de distribución en tiempo real (Grupo SAESA)*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/11108>
- Charles, A., & Matthew, S. (2014). *Fundamentals of Electric Circuits*. <https://steltda.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/03/fundamentos-de-circuitos-elc3a9ctricos-3edi-sadiku.pdf>
- Chávez, F. F., & Paz, A. M. (2021). *Metodología del diseño geotécnico de las cimentaciones en líneas de transmisión*. <https://hdl.handle.net/11042/4711>
- Claro, M. (2022). Ejecución del plan de mantenimiento de los sistemas electromecánicos del túnel 6-a de la vía Bogotá-Villavicencio. <https://catalogobiblioteca.ufps.edu.co/descargas/tesis/1091117.pdf>. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7113>
- CNEL. (2020). *DISEÑO ELECTROMECAÁNICO LINEA DE SUBTRANSMISIÓN A 69 KV QUININDE 1, QUININDE 2*.
- Cruz, R. R. (2020). Metodología para localizar fallas en las líneas de transmisión L-6018 66kv y L-1030 33kv asistido por computador—2018. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2692570>
- DirectIndustry. (2024). *Reyrolle 7SR158—Relé de protección de frecuencia by Siemens Energy automation and smart grid*. <https://www.directindustry.es/prod/siemens-energy-automation-and-smart-grid/product-30064-1587887.html>
- Edibon. (2020). *Aplicación de Relés de Protección*. Edibon. <https://www.edibon.com/es/aplicacion-de-reles-de-proteccion>
- Electricistas.cl. (2022, noviembre 23). *Transformadores, procedimientos de prueba*. <https://electricistas.cl/transformadores-procedimientos-de-prueba/>
- Encala, K. N., & Tonato, M. N. (2023). *Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos de distribución, mediante el uso de Relés SEL-751* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24673>
- Fernández, C. A. (2021). *Estudio para la implementación de ajuste de protecciones en los relés e integración al scada para mejorar el suministro eléctrico en el*

- sistema de distribución de la ciudad de Abancay.*  
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6029>
- García, K. D., & Guerra, R. S. (2024). “*Desarrollo de un módulo virtual inmersivo para el entrenamiento en el montaje de transformadores de distribución*” [bachelorThesis, Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://localhost/handle/27000/11878>
- Gavidia, J. M., & Paredes, J. J. (2021). “*Implementación de un módulo didáctico sobre generación, transporte y distribución de energía eléctrica.*” [bachelorThesis, Ecuador : La Maná : Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://localhost/handle/27000/7953>
- Geya. (2022, septiembre 16). *¿Cuál es el principio de funcionamiento del relé de monitoreo de voltaje?* <https://www.geya.net/es/what-is-the-voltage-monitoring-relay-working-principle/>
- Gonzales, L. E. (2021). *Diseño de una máquina para tratamiento de bajos volúmenes de aceite dieléctrico (PCB) para su reutilización en los transformadores de distribución aéreo de media tensión en la ciudad de Chiclayo.* <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4460>
- Gualoto, E. W., & Quinaluisa, C. J. (2020). *Guía técnica para la adquisición y mantenimiento de celdas de distribución aisladas en SF6 y programación del relé de protección con el que cuenta la celda* [bachelorThesis, Quito, 2020.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21107>
- Gutarra, J. A. (2023). *Optimización en el funcionamiento del transformador de distribución para el ahorro de energía de la línea eléctrica Azángaro— Juliaca—Puno.* <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9402>
- Hileman, A. (2000). *Insulation Coordination for Power System.pdf.* SlideShare. <https://www.slideshare.net/slideshow/andrew-r-hileman-insulation-coordination-for-power-systempdf/252169056>
- Imporpernos. (2019, septiembre 9). *Norma ASTM F3125 (pernos estructurales).* <https://www.imporpernos.com/blog/norma-astm-f3125>
- Inmr. (2024, abril 17). *Fundamentals of Insulation Coordination -.* <https://www.inmr.com/fundamentals-of-insulation-coordination/>
- Jaucha, G. W. (2022). *Implementación del conductor no convencional termorresistente ACCC R para la repotenciación de la línea de transmisión*

- en 72.5 KV S.E. Carpapata II de UNACEM S.A.A. Tarma, Junín.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8544>
- Kuffel, E., Zaengl, W., & Kuffel, J. (2000). *High Voltage Engineering Fundamentals*. <https://www.mv.helsinki.fi/home/tpaulin/Text/hveng.pdf>
- Landeo, J. C. (2023). *Análisis del diseño de apantallamiento contra descargas atmosféricas en la ampliación de la subestación Chupaca, 2021-2023*.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9980>
- López, I. (2021). *Diseño de investigación para un diseño de un plan de mantenimiento óptimo para un banco de autotransformación 230/69/13.8 kV 150 MVA de una subestación eléctrica propiedad de TRECSA* [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/18777/>
- Louis, R. (2013). *ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY*.  
<https://dn790000.ca.archive.org/0/items/ElectronicDevicesAndCircuitTheory/Electronic%20Devices%20and%20Circuit%20Theory.pdf>
- Lyon, M. (2022). *Subtransmission power system amelioration through increased power transfer* [Thesis, North-West University (South Africa)].  
<https://repository.nwu.ac.za/handle/10394/39373>
- Mech. (2022, abril 9). *Mechanical Engineering Formulas & Equations*.  
<https://www.aboutmech.com/p/mechanical-engineering-formulas.html>
- Melany, C. (2020). *Repotenciación de una baroladora a través de un control semiautomático para láminas de acero de 2400mm de longitud con espesores desde 2mm hasta 6mm en la empresa IMCOMSA en Latacunga parroquia San Buenaventura en el año 2020*. ESPE.
- Mendez, A. (2023). Implementación de protecciones eléctricas en un sistema de media tensión 4.16 kV para reducir tiempos de parada no planificada en una estación de bombeo de una planta concentradora ubicada en Apurímac.  
*Repositorio Institucional - UTP*.  
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8118>
- Mendía, P. R. (2022). *Protocolo y normativo para la instalación de torres de transmisión de emergencia* [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
<https://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>

- Misericordia, J. L. (2021). *Diseño para la construcción de un transformador de distribución monofásico de 15 KVA 6,900/230 V* [Thesis].  
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/32658>
- Moayed, S. H., Shahi, H. H., Akbarizadeh, M., Jadidoleslam, M., Aghatehrani, A., & Pirouzi, A. (2023). Presenting a Stochastic Model of Simultaneous Planning Problem of Distribution and Subtransmission Network Development considering the Reliability and Security Indicators. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2023(1), 8198865.  
<https://doi.org/10.1155/2023/8198865>
- Molina, A. D. (2024). *Diseño e implementación de una red de área amplia de baja potencia (LPWAN), para el monitoreo y optimización del tiempo de registro de consumo, corte y reconexión del suministro eléctrico monofásico residencial* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13066>
- Morales, D. (2023). *Análisis de efectos de los armónicos en transformadores de distribución*. [Thesis].  
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/34599>
- More, A. N., & Taipicuri, L. (2021). Diseño de la cimentación de torres de alta tensión mediante pernos de anclaje para su fundación sobre macizo rocoso ubicado en el distrito de Chorrillos-Lima-Perú. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/658818>
- Ngenergygroup. (2021). Conductor ACSR (Conductor de aluminio reforzado con acero). *NG Energy*. <https://ngenergygroup.com/producto/conductor-acsr-conductor-de-aluminio-reforzado-con-acero/>
- Normadoc. (2023). *IEEE C57.12.90:2021*. Normadoc.  
<https://www.normadoc.com/spanish/ieee-c57-12-90-2021.html>
- Olympus. (2022, diciembre 14). *1. Introducción a los ensayos por corrientes de Foucault*. <https://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/eca-tutorial/intro/>
- Oña, J. O., & Ruales, L. E. (2024). Análisis de sobrevoltajes por impulso atmosférico en sistemas de Transmisión con discontinuidades líneas de transmisión aéreas y cables aislados, usando ATP. *Revista Técnica energía*, 20(2), 1-10.  
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.597>

- Oscanoa, W. (2020). Metodología de ubicación de pararrayos para optimizar su distribución en la línea de transmisión Mollepata—Cangallo 69 Kv. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6484>
- Palacios, A. (2024). *Modelación y validación del regulador de voltaje de la central hidroeléctrica el Ambi utilizando optimización heurística MVMO y registros de mediciones sincrofasoriales para contribuir al análisis operativo del sistema nacional interconectado* [bachelorThesis].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27843>
- Queb, A. (2021, julio 3). *Partes principales de un transformador eléctrico—Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica*.  
<https://www.sectorelectricidad.com/34718/partes-principales-de-un-transformador-electrico/>
- Ramírez, J., Cabezas, K., Jiménez, P., Canelos, R., Escobar, B., Ramírez, J., Cabezas, K., Jiménez, P., Canelos, R., & Escobar, B. (2020). Cálculo de la distribución de voltajes en las cadenas de aisladores de una línea de transmisión de 500 kV utilizando el método de los elementos finitos. *Enfoque UTE*, 11(3), 1-14. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n3.619>
- Rojas, O. D. (2022). Gestión de calidad en el mantenimiento de torres instaladas para línea de transmisión eléctrica 500 Kv Lima, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87893>
- Rosado, Y. (2015). *Manual de Puestas a Tierra Thor Actividad II*. Pdfcoffee.Com.  
<https://pdfcoffee.com/manual-de-puestas-a-tierra-thor-actividad-ii-pdf-free.html>
- Rte. (2020, agosto 12). TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION ELECTRICA. RTE. <https://rte.mx/transformadores-de-distribucion-electrica>
- Saborío, O. M. (2023). *Modelo de sistemas electromecánicos integrados de gestión para pequeñas y medianas empresas (pymes) en el sector industrial aplicado en La Nacional S. A. según la norma ISO 50001*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14938>
- Seas. (2019, agosto 22). *El Relé: Para qué es, para qué sirve y qué tipos existen / Blog SEAS*. <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>

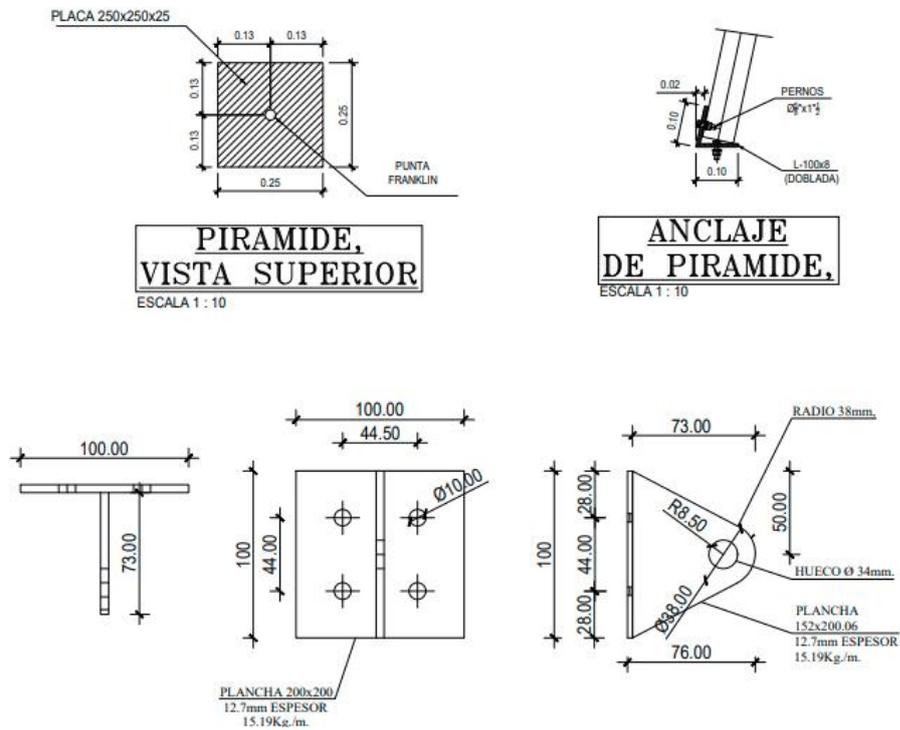
- SectorElectricidad. (2019, diciembre 11). *Tipos de torre de transmisión—Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica*.  
<https://www.sectorelectricidad.com/27226/tipos-de-torre-de-transmision/>
- Stax. (2022). *6.3 Logarithmic Functions—College Algebra 2e*.  
<https://openstax.org/books/college-algebra-2e/pages/6-3-logarithmic-functions>
- SteelStructure. (2019, febrero 8). Ejemplos Diseño Torres de Transmisión de Potencia, Torre de la transmisión Línea. *torre de comunicación, torre de celosía, Automantenimiento fabricante de la torre - Jielian EMPRESA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS*. <https://www.steeltowerchn.com/design-examples-power-transmission-towers/>
- Steeltowerchn. (2020). Diferencias entre las líneas Torre de la transmisión y líneas de distribución de torre. *torre de comunicación, torre de celosía, Automantenimiento fabricante de la torre - Jielian EMPRESA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS*. <https://www.steeltowerchn.com/differences-between-transmission-tower-lines-and-distribution-tower-lines/>
- Thakar, S., Vittal, V., Ayyanar, R., & Rojas, C. (2023). The Impact of Detailed Distribution System Representation in Dynamic Sub-Transmission-Distribution Co-Simulation. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, *10*, 490-502. IEEE Open Access Journal of Power and Energy. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2023.3285888>
- Valdiviezo, K. J. (2023). *Evaluación de impacto ambiental para la construcción, operación y abandono de una línea de transmisión de 69 kV ubicada al sur del Ecuador*. <http://hdl.handle.net/10317/12757>
- Verdolin, R. (2015, noviembre). *Lightning Protection and Transient Overvoltage*. IEEE. [https://site.ieee.org/sas-pesias/files/2016/03/Lightning-Protection-and-Transient-Overvoltage\\_Rogerio-Verdolin.pdf](https://site.ieee.org/sas-pesias/files/2016/03/Lightning-Protection-and-Transient-Overvoltage_Rogerio-Verdolin.pdf)
- Zambrano, S. (2022). Optimal subtransmission switching using a reliability simulation-based multi-objective optimization model. *Electric Power Systems Research*, *210*, 108068. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108068>
- Zavaleta, I. G., & Cunia, A. S. (2021). Sistema electromecánico formado por una baldosa y generador eléctrico tipo dínamo para la conversión de energía potencial generada al caminar en energía eléctrica. *Universidad Privada Antenor Orrego*. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7030>

Zhiyuan, T., & Hill, D. (2020). Distributed control of active distribution networks to support voltage control in subtransmission networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105715.

<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105715>

## Anexo 1

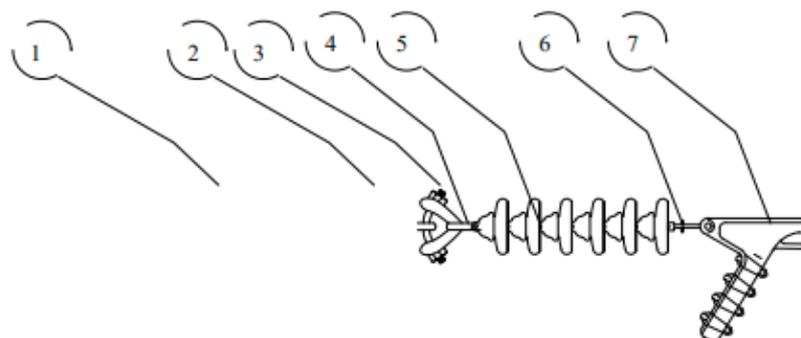
**Figura A1:** Vista lateral, frontal superior y anclaje de la pirámide de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



Nota: Perspectivas de visualización de las pirámides eléctricas de la línea de subtransmisión.

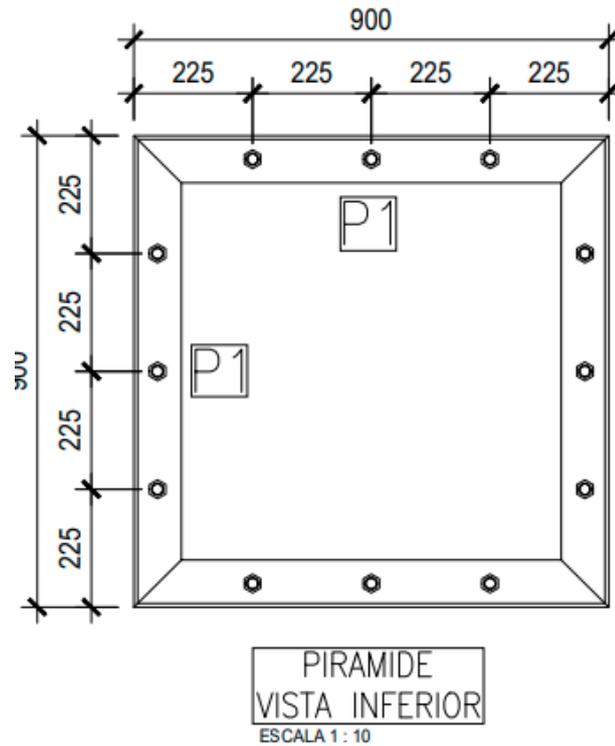
Elaborado por: El Autor

**Figura A2:** Soporte de la cadena y adaptador de los aisladores de retención de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



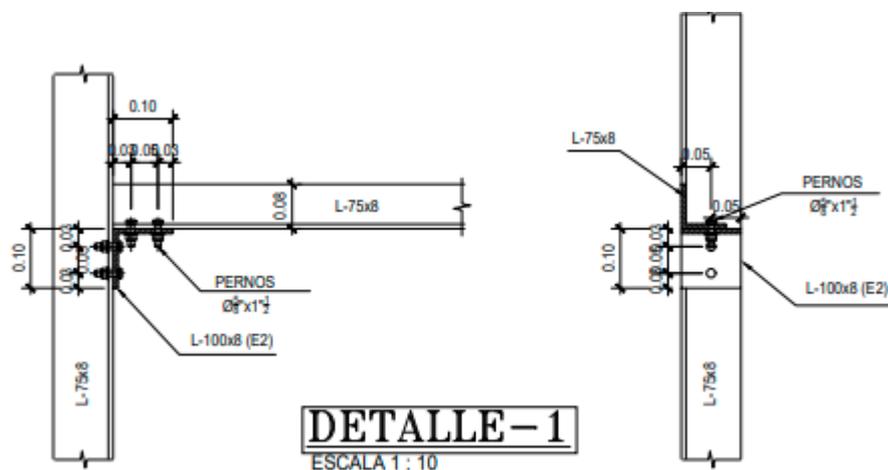
Nota: Numeración de los elementos que componen la cadena y el aislador de retención. Elaborado por: El Autor

**Figura A3:** Dimensiones y tamaño en escala 1:10 de pirámide de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



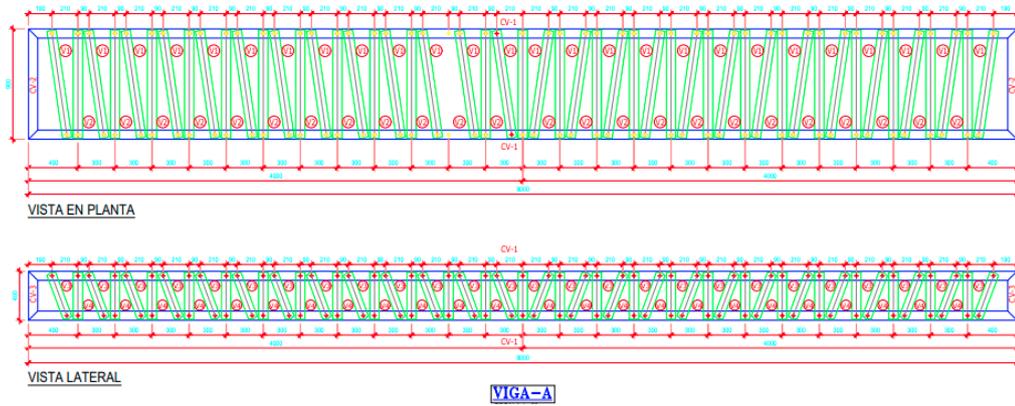
Nota: Medidas de las estructura de la pirámide en ejes de x y. Elaborado por: El Autor

**Figura A4:** Vista lateral y frontal del soporte del seccionador y base del porta fusible de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



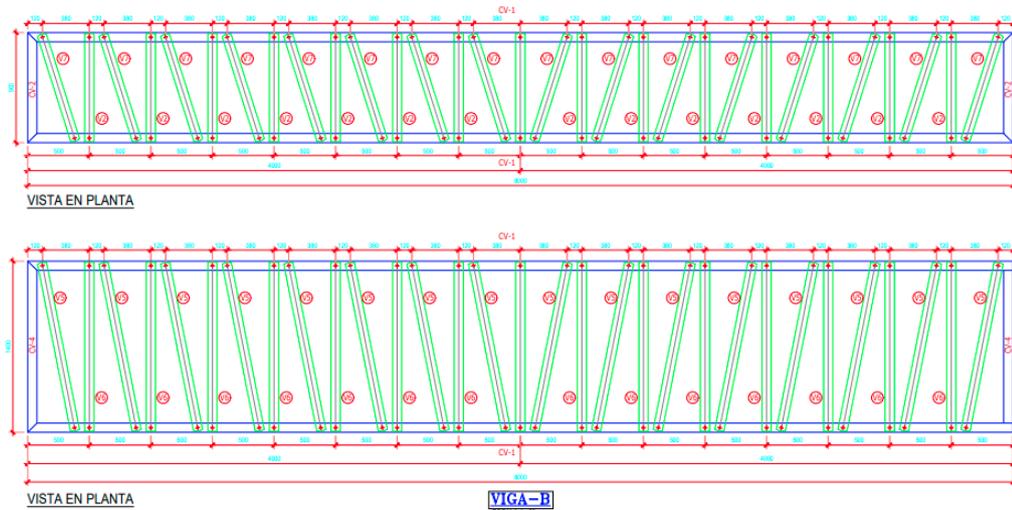
Nota: Perspectivas de visualización del soporte del seccionador y base del porta fusible de la línea de subtransmisión. Elaborado por: El Autor

**Figura A5:** Vista lateral de la planta sección A de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



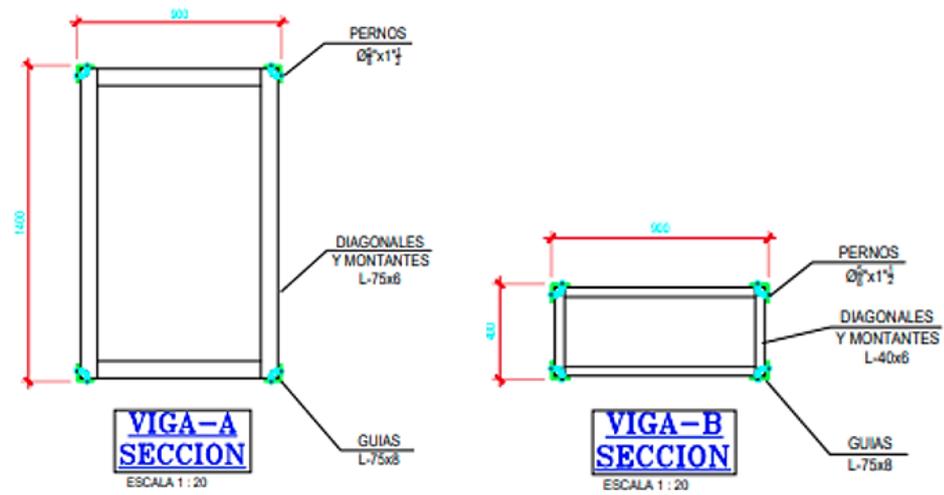
Nota: Perspectivas de visualización de la planta sección A de la línea de subtransmisión. Elaborado por: El Autor

**Figura A6:** Vista lateral de la planta sección B de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



Nota: Perspectivas de visualización de la planta sección B de la línea de subtransmisión. Elaborado por: El Autor

**Figura A7:** Sección A y B de los montanes de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces en AutoCAD.



Nota: Perspectivas de visualización de los montanes de la sección A y B de la línea de subtransmisión.

Elaborado por: El Autor

## Anexo 2

**Tabla A1:** Cuadro de medidas y cálculo de la resistividad eléctrica en los vértices

<b>LINEA DE SUBTRANSMISION LST 69KN VINCES - BABA</b>						
<b>MEDIDAS DE RESISTENCIA Y CALCULO DE RESISTIVIDAD</b>						
N°	MEDIDA		CALCULO		PROMEDIO	ABSCIS A
	OHMIOS		OHMIOS- METRO		OHMIOS- METRO	
	EN AVANCE	A 90°	EN AVANCE	A 90°		
Pórtico S/E				51,77		
Baba	2,1	2,06	52,779	4	52,276	0,000
V-1	0,71	1	17,844	3	21,489	461,839
V-1A	0,34	1,22	8,545	2	19,604	541,454
V-1B	0,54	1,05	13,572	9	19,981	759,244
V-1B P5	0,87	1	21,866	3	23,499	1.169,968
V-2	0,92	0,95	23,122	6	23,499	1.665,873
V-2 P4	1,2	1,01	30,159	4	27,772	1.995,574
V-3	0,90	1	22,620	3	23,876	2.325,274
V-4	0,92	0,90	23,122	5	22,883	2.383,982
V-5	0,78	0,63	19,604	4	17,719	2.832,404

V-6	0,54	0,48	13,572	12,06 4	12,818	2.979,68 4
V-6A	1,01	0,96	25,384	24,12 7	24,756	3.482,66 3
V-6- P5	0,902	0,92 1	22,670	23,14 7	22,909	3.875,68 7
V-7	0,75	0,78	18,850	19,60 4	19,227	4.268,71 0
V-7 P6	0,65	0,71	16,336	17,84 4	17,090	4.712,38 1
V8	0,731	0,81	18,372	20,35 8	19,365	5.349,98 5
V-8 P6	0,53	0,47 1	13,320	11,83 8	12,579	5.849,60 8
V-8 P11	0,833	0,94 3	20,936	23,70 0	22,318	6.359,15 5
V-9	0,49	0,55	12,315	13,82 3	13,069	6.943,70 2
V10	1,891	2,2	47,526	55,29 2	51,409	7.203,07 7
V-10 P6	0,663	0,58 9	16,663	14,80 3	15,733	7.706,83 1
V-11	0,589	0,47 2	14,803	11,86 3	13,333	8.037,08 3
V-12	0,392	0,52 6	9,852	13,22 0	11,536	8.161,40 8
V-13	0,69	0,65 9	17,342	16,56 3	16,952	8.392,54 6
V-14	0,875	0,89	21,991	22,36 8	22,180	8.862,95 9
V-15	0,67	0,89	16,839	22,36 8	19,604	9.028,73 1

V-15 P6	0,78	0,78	19,604	19,60 4	19,604	9.507,92 7
V-16	0,55	0,61 2	13,823	15,38 1	14,602	9.987,12 3
V-17	0,486	0,48 9	12,215	12,29 0	12,252	10.182,3 68
V-17 P6	1,22	1,09	30,662	27,39 5	29,028	10.692,1 90
V-17 P12	0,928	1	23,323	27,19 4	25,258	11.213,9 76
V-17 P18	1,43	1,38 5	35,940	34,80 9	35,374	11.736,8 19
V-18	1,96	1,97	49,260	49,51 2	49,386	12.072,4 99
V-18 P6	1,49	1,71 3	37,448	43,05 2	40,250	12.592,0 27
V-18 P12	1,55	1,81 4	38,956	45,59 1	42,273	13.125,2 91
V-18 P18	1,085	1,00 2	27,269	25,18 3	26,226	13.658,9 13
V-19	1,25	1,32	31,416	33,17 5	32,296	14.089,5 36
V-20	0,64	0,62	16,085	15,58 2	15,834	14.615,4 66
V-21	0,48	0,63	12,064	15,83 4	13,949	15.259,7 06
V-22	0,81	0,79 3	20,358	19,93 0	20,144	15.513,1 44
V-22 P5	0,62	0,67	15,582	16,83 9	16,211	15.919,0 86
V-23	1,76	1,77	44,234	44,48 5	44,359	16.251,2 79

V-23 5	1,79	1,79	44,988	44,98 8	44,988	16.673,3 54
V-24	1,755	1,76	44,108	44,23 4	44,171	17.114,2 70
V-25	1,21	1,24	30,411	31,16 5	30,788	17.205,1 13
V-25 P6	1,1	1,11	27,646	27,89 7	27,772	17.684,2 44
V-26	0,92	0,87	23,122	21,86 6	22,494	18.002,1 23
V-27	0,754	0,77	18,950	19,35 2	19,151	18.554,9 01
V-28	0,89	0,92	22,368	23,12 2	22,745	18.632,8 99
V-29	1,1	0,97	27,646	24,37 9	26,012	18.632,8 99
V-30	0,65	0,59	16,336	14,82 8	15,582	19.959,4 99
V-31	0,73	0,61	18,347	15,33 1	16,839	20.597,8 66
V-31A	0,9	0,78	22,620	19,60 4	21,112	21.033,4 77
V-32	1,23	1,09	30,913	27,39 5	29,154	21.269,0 36
V-32A	2,49	2,31	62,581	58,05 7	60,319	21.411,5 56
V-32B	2,49	2,31	62,581	58,05 7	60,319	22.032,3 63
V-33	0,58	0,67	14,577	16,83 9	15,708	22.775,4 21
V-34	0,427	0,37	10,732	9,299	10,015	22.851,3 29

V-34 P6	0,43	0,46	10,807	11,56 1	11,184	23.382,0 05
V-34 P12	0,49	0,44	12,315	11,05 8	11,687	24.003,8 11
V-34 P18	0,47	0,45	11,812	11,31 0	11,561	24.530,8 45
V-35	0,38	0,41	9,550	10,30 4	9,927	25.052,7 20
V-35 P6	0,392	0,38	9,852	9,550	9,701	25.564,4 70
V-36	0,42	0,34	10,556	8,545	9,550	26.080,1 26
V-36A	0,55	0,52 3	13,823	13,14 4	13,484	26.162,9 39
V-37	0,38	0,34	9,550	8,545	9,048	26.242,8 90
V-37 P6	0,42	0,38	10,556	9,550	10,053	26.767,0 05
V-37P11	0,44	0,48	11,058	12,06 4	11,561	27.212,1 21
V-38	0,316	0,26 9	7,942	6,761	7,351	27.558,1 89
V-38 P6	0,32	0,30 3	8,042	7,615	7,829	28.069,9 81
V-38 P12	0,43	0,28 3	10,807	7,113	8,960	28.586,7 34
V-38 P18	0,452	0,35	11,360	8,796	10,078	29.197,2 87
V-38 P24	0,58	0,46	14,577	11,56 1	13,069	29.722,7 20
V-39	1,095	0,99	27,520	24,88 1	26,201	30.152,4 99

V-40	0,448	0,43	11,259	10,80 7	11,033	30.209,0 93
V-41	2,074	1,76	52,125	44,23 4	48,180	30.748,8 23
V-42	1,2	0,99	30,159	24,88 1	27,520	30.902,4 34
S/E VINCES	1,96	2,11	49,260	53,03 0	51,145	30.939,8 27

Elaborada por: Autor



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Medina Quinto, Héctor Javier** con C.C: **1204280828** y **Campuzano Sánchez, Jorge Francisco** con C.C: **1205265489** autores del Trabajo de Integración Curricular: **Estudio Electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 Kv para optimizar la eficiencia energética en el trayecto Baba – Vinces**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electricidad**, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de integración curricular para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de integración curricular, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de septiembre del 2024

Medina Quinto, Héctor Javier

**C.C: 1204280828**

Campuzano Sánchez, Jorge Francisco

**C.C: 1205265489**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>		
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio Electromecánico de una línea de subtransmisión a 69 Kv para optimizar la eficiencia energética en el trayecto Baba – Vinces.	
<b>AUTOR(ES)</b>	Medina Quinto, Héctor Javier Campuzano Sánchez, Jorge Francisco	
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Quezada Calle, Edgar Raúl. MSc.	
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.	
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Electricidad	
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Electricidad	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	Guayaquil, 6 de septiembre del 2024	<b>No. DE PÁGINAS:</b> 88
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas de Distribución Eléctrica, Redes Eléctricas.	
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Línea de subtransmisión, estudio electromecánico, análisis de potencia, pérdidas eléctricas, eficiencia energética.	
<p>El presente trabajo de integración curricular se centra en la elaboración de los diseños electromecánicos para la construcción de la línea de subtransmisión a 69 kV en Baba-Vinces. Mediante el análisis de los diferentes tipos de suelo a lo largo del trayecto Baba-Vinces, enfocándose en sus propiedades físicas y químicas relevantes para la instalación de la línea de subtransmisión de 69 kV, para realizar las mediciones de resistividad del terreno en puntos clave del trayecto utilizando el método de Wenner de cuatro puntas, para establecer el sistema de puesta a tierra específico en base a las mediciones de resistividad de los suelos, mediante el cual se realiza el cálculo de las protecciones a emplear de la línea de subtransmisión de 69 kV del trayecto Baba-Vinces y en base a estos análisis se obtiene el presupuesto referencial para la construcción, la parte electromecánica y eléctrica de la línea de Transmisión de línea trifásica a 69 KV Baba-Vinces. Este estudio proporcionará el desarrollo económico y social de la zona de Baba-Vinces depende en gran medida por un suministro eléctrico confiable y eficiente, mejorará la calidad del servicio eléctrico, impulsando así el crecimiento industrial, comercial y residencial de la región y además esta rama eléctrica pertenecería al sistema interconectado de energía eléctrica del país. El procedimiento de investigación utilizado es el literario o bibliográfico para investigar información acerca de la distribución eléctrica, subtransmisión a 69 kV, y casos de estudio similares.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593993109007 +593959930625	<b>E-mail:</b> hector.medina01@cu.ucsg.edu.ec jorge.campuzano@cu.uscg.edu.ec
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Ricardo Xavier Ubilla González	
	<b>Teléfono:</b> +593999528515	
	<b>E-mail:</b> Ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		