

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**ALTERNATIVA DE RECONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE
POSTES DE MEDIA TENSIÓN Y BAJA TENSIÓN DEBIDO A LA
PRESENCIA DE REDES DE FIBRA ÓPTICA EN LOS SECTORES
DE URUBAMBA, CUSCO 2024**

PRESENTADO POR:

Br. OLMER ATAPAUCA VILLANO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Ing. MARIO GONZALES VARGAS

CUSCO-PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor MARIO GONZALES VARGAS
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ALTERNATIVA DE RECONFIGURACIÓN
ESTRUCTURAL DE POSTES DE MEDIA TENSION Y BAJA TENSION
DEBIDO A LA PRESENCIA DE REDES DE FIBRA ÓPTICA EN LOS
SECTORES DE URUBAMBA, CUSCO 2024

Presentado por: OLMER ATAPALCA VILLANO DNI N° 42398796;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO ELECTRICISTA

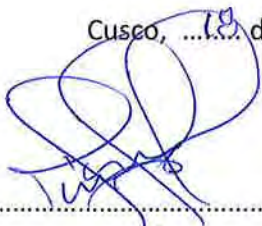
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>+</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 18 de JULIO de 2026


Firma

Post firma MARIO GONZALES VARGAS

Nro. de DNI 23905749

ORCID del Asesor 0000 0002 3727 0253

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:608616899

OLMER ATAPAUCHAR VILLANO

TESIS - OLMER ATAPAUCHAR VILLANO.pdf



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:608616899

Fecha de entrega

18 jul 2026, 8:50 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 jul 2026, 8:55 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS - OLMER ATAPAUCHAR VILLANO.pdf

Tamaño del archivo

2.5 MB

181 páginas

34.839 palabras

203.580 caracteres

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
65 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
6 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

“Dedico este logro, ante todo, a mi familia, por ser el pilar que sostuvo cada uno de mis pasos. En primer lugar, a mis padres, cimiento de todo lo que soy; a mi esposa, mi compañera y soporte inquebrantable; y a mis hijos, fuente infinita de motivación y alegría. Su paciencia, amor y fe inquebrantable me guiaron en los momentos más desafiantes. A cada palabra de aliento, a cada gesto de apoyo: gracias, profundamente.

También agradezco a quienes creyeron en mi camino y ofrecieron su compañía sincera. Su presencia fue un faro que iluminó las horas de esfuerzo y me recordó que este trayecto nunca fue del todo solitario.”

Atapaucar Villano Olmer

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Señores Docentes miembros del Jurado de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica.

En concordancia y cumplimiento con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos Vigentes, con el objeto de optar al título profesional de Ingeniero Electricista, presento ante ustedes la tesis intitulada: “ALTERNATIVA DE RECONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE POSTES DE MEDIA Tensión Y BAJA Tensión DEBIDO A LA PRESENCIA DE REDES DE FIBRA ÓPTICA EN LOS SECTORES DE URUBAMBA, CUSCO 2024”, trabajo que tiene como finalidad analizar y proponer soluciones de ingeniería ante la problemática generada por la convivencia de la infraestructura eléctrica existente con las redes de telecomunicaciones. El estudio se enfoca específicamente en el desarrollo de una alternativa técnica para la reconfiguración estructural de los postes que soportan los circuitos de media y baja tensión, con el propósito de garantizar la seguridad, la integridad de las redes y el cumplimiento de la normativa técnica, en un contexto de creciente despliegue de fibra óptica en los sectores de Urubamba, Cusco – 2024. La aplicación de esta propuesta permite optimizar el uso del espacio en la infraestructura de soporte, asegurando la coexistencia segura y eficiente de ambos servicios, lo que contribuye a una planificación urbana más ordenada y al desarrollo tecnológico sostenible de la región.

RESUMEN

En los últimos años, el despliegue acelerado de redes de fibra óptica ha generado una sobrecarga significativa en la infraestructura eléctrica existente, especialmente en zonas urbanas y semiurbanas. Esta investigación evalúa el impacto estructural que dicha expansión ha tenido sobre postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco, y propone alternativas de rediseño estructural que garanticen la seguridad, funcionalidad y durabilidad del sistema.

El objetivo general fue proponer una alternativa de reconfiguración estructural para los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco – 2024, debido a la instalación de redes de fibra óptica.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo, utilizando herramientas como DLTCAD y SAP2000 para el modelado estructural por elementos finitos, AutoCAD y Google Earth para la representación y georreferenciación.

Los resultados demostraron incrementos de hasta 13 % en los esfuerzos de tiro y desplazamientos superiores a 10 cm en algunos postes, evidenciando factores de seguridad por debajo del mínimo permitido ($F.S < 1.0$). Entre las tres alternativas estudiadas se vio que la sustitución de postes de CAC fue la más eficiente, logrando reducciones de hasta 50 % en desplazamientos y factores de seguridad promedio de 2.51.

Donde se concluye que la instalación de redes de fibra óptica afecta significativamente el desempeño estructural y de seguridad de los postes, siendo necesaria la aplicación de medidas de reconfiguración técnica para mantener la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico.

Palabras clave: Fibra óptica, Postes eléctricos, Reconfiguración estructural, Esfuerzos de tiro.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de las telecomunicaciones en el Perú ha impulsado en los últimos años la instalación masiva de redes de fibra óptica tanto en zonas urbanas como rurales. Este proceso, orientado a mejorar la conectividad digital y reducir la brecha tecnológica, ha generado nuevas exigencias sobre la infraestructura eléctrica existente. En muchos casos, los postes de media y baja tensión han sido utilizados como soporte para los cables de telecomunicaciones sin considerar su capacidad estructural original.

En el distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, departamento del Cusco, esta situación se ha vuelto especialmente relevante. La coexistencia de conductores eléctricos y cables de fibra óptica en los mismos postes ha ocasionado sobrecargas, fisuras, inclinaciones y deformaciones estructurales, comprometiendo la estabilidad del sistema eléctrico y la seguridad pública. Esta problemática motiva la presente investigación, orientada a evaluar y proponer soluciones técnicas que aseguren la integridad estructural de los postes y la continuidad del servicio eléctrico. El trabajo se sustenta en el concepto de reconfiguración estructural, entendido como el proceso técnico de rediseñar o reforzar elementos estructurales existentes para mejorar su capacidad portante ante nuevas condiciones de carga. En este caso, se evalúa la influencia de la instalación adicional de cables de fibra óptica sobre postes de concreto y madera, considerando los esfuerzos de tiro, flexión y desplazamiento resultantes. El estudio busca determinar si es posible plantear una alternativa de reconfiguración estructural que permita mantener la estabilidad del sistema ante las nuevas demandas.

La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, aplicado y descriptivo, con un método deductivo, partiendo de la hipótesis de que la instalación de redes de fibra óptica afecta negativamente la estabilidad estructural de los postes.

La metodología se basó en tres etapas principales:

Diagnóstico del estado actual mediante inspección de campo y registro.

Modelado y análisis estructural con herramientas computacionales (DLTCAD, SAP2000 y AutoCAD) para determinar esfuerzos, tensiones y desplazamientos.

Propuesta y validación técnica de alternativas de solución bajo normas del Código Nacional de Electricidad (CNE) y estándares de diseño estructural vigentes.

El trabajo adquiere importancia técnica y práctica por abordar un problema actual de gran impacto en la gestión de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones. Sus resultados ofrecen criterios de diseño y evaluación que pueden ser utilizados por empresas concesionarias, ingenieros estructurales y autoridades locales, facilitando la toma de decisiones para reforzar o sustituir postes afectados. Además, contribuye a la seguridad pública y a la sostenibilidad del sistema eléctrico, promoviendo un desarrollo ordenado y compatible con el avance tecnológico.

La investigación se organiza en cinco capítulos:

Capítulo I: Aspectos Generales, que presenta la ubicación geográfica, el problema, los objetivos, hipótesis, variables, metodología y matriz de consistencia.

Capítulo II: Marco Teórico, que desarrolla los antecedentes, bases teóricas y normativas sobre postes, cargas y comportamiento estructural.

Capítulo III: Evaluación del Estado Actual de los Postes, donde se analiza la infraestructura existente y se determinan las condiciones estructurales reales.

Capítulo IV: Evaluación Computacional del Comportamiento Estructural, que expone el modelado y análisis mediante software especializado.

Capítulo V: Propuesta de Reconfiguración Estructural, en el que se plantean, modelan y comparan las alternativas de solución, verificando su desempeño frente a normas técnicas.

Finalmente, se presentan las conclusiones, sugerencias, bibliografía y anexos, consolidando los resultados obtenidos y las recomendaciones técnicas para su aplicación práctica en otros sectores con características similares.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA	2
PRESENTACIÓN.....	3
RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I.....	18
1. ASPECTOS GENERALES.....	18
1.1. Ubicación Geográfica	18
1.2. El Problema.....	20
1.3. Formulación del Problema	22
1.3.1. Problema General.....	22
1.3.2. Problemas Específicos	23
1.4. Objetivos	23
1.4.1. Objetivo General.....	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. Justificación del Trabajo	24
1.6. Alcances y Limitaciones	24
1.6.1. Alcances.....	24
1.6.2. Limitaciones.....	24
1.7. Hipótesis de la Investigación	25
1.7.1. Hipótesis General.....	25
1.7.2. Hipótesis Específicas	25
1.8. Operacionalización de variables	27
1.9. Población y Muestra	28

1.9.1.	Población.....	28
1.9.2.	Muestra	28
1.10.	Metodología	28
1.10.1.	Enfoque de la Investigación.....	28
1.10.2.	Tipo de Investigación.....	28
1.10.3.	Nivel de Investigación	29
1.10.4.	Diseño de la investigación	29
1.10.5.	Método de Investigación.....	30
1.11.	Técnicas de Recolección de Datos.....	30
1.12.	Análisis de Datos	30
1.13.	Validez de las Variables de las Hipótesis	31
1.14.	Matriz de Consistencia.....	32
CAPÍTULO II		34
2. MARCO TEÓRICO		34
2.1.	Antecedentes de la Investigación.....	34
2.2.	Bases teóricas.....	36
2.2.1.	Sistema de Distribución Eléctrica.....	36
2.2.2.	Tipos de Postes y sus Características.....	40
2.2.3.	Catenaria del Conductor	43
2.2.4.	Peso unitario del Conductor W_c	44
2.2.5.	Vano Entre Estructuras	44
2.2.6.	Ecuación De La Catenaria Entre Dos Puntos	44
2.2.7.	Parámetro de la Catenaria	45
2.2.8.	Tiro Del Conductor.....	45
2.2.9.	Tiro Máximo y Tiro de Rotura del Conductor.....	46

2.2.10.	Esfuerzo del Conductor.....	46
2.2.11.	Cargas Mecánicas Sobre Las Estructuras	47
2.2.12.	Cargas transversales.....	47
2.2.13.	Vano Viento O Eolovano.....	48
2.2.14.	Distancia Geométrica De La Red	49
2.2.15.	Comportamiento Estructural de Postes Sometidos a Cargas Combinadas ..	50
2.2.16.	Uso Compartido de Infraestructura Eléctrica y de Telecomunicaciones.....	51
2.2.17.	Métodos de Reforzamiento Estructural de Postes	52
2.3.	Bases Normativas.....	53
CAPÍTULO III.....		58
3. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS POSTES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....		58
3.1.	Descripción del área de estudio	58
3.1.1.	Ubicación geográfica: sectores urbanos y rurales del distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, Cusco.....	58
3.1.2.	Características del alimentador UR 01	58
3.1.3.	Condiciones ambientales	59
3.2.	Características del subsistema de distribución URUBAMBA.....	61
3.3.	Componentes Principales del subsistema de distribución Urubamba.....	64
3.3.1.	Línea de transmisión derivación - Urubamba.....	64
3.3.2.	SET Urubamba.....	65
3.4.	Características de los postes existentes.....	68
3.4.1.	Tipos de postes en el alimentador UR - 01:.....	74
3.4.2.	Alturas típicas	75
3.4.3.	Antigüedad aproximada	76

3.5.	Metodología de evaluación de campo.....	78
3.6.	Planimetría y situación actual	84
3.7.	Resultados del diagnóstico.....	90
3.8.	Conclusiones del estado actual	91
3.9.	Criterios para la selección de muestras	92
CAPÍTULO IV		94
4. EVALUACIÓN COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL		94
4.1.	Selección de postes comprometidos estructuralmente.....	94
4.2.	Herramientas utilizadas.....	95
4.3.	Modelado estructural	95
4.3.1.	Condiciones críticas (viento, temperatura)	95
4.3.2.	Clasificación de Postes por Función Estructural y Ángulo de Desviación..	96
4.3.3.	Tiro sometido al poste en condiciones originales.	98
4.3.4.	Tiro con carga adicional por instalación de fibra óptica.....	100
4.3.5.	Comparación de esfuerzos de tiro obtenidos en DLTCAD	103
4.3.6.	Cálculo mecánico de cimentación de postes.....	105
4.3.7.	Análisis estructural del poste debido a las cargas actuantes	108
4.4.	Resultados del análisis computacional.....	113
4.5.	Análisis e interpretación técnica de los resultados	114
4.6.	Herramienta de validación en Python	116
CAPÍTULO V.....		119
5. PROPUESTA DE RECONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.....		119
5.1.	Alternativas de solución propuestas.....	119
5.2.	Modelado de soluciones propuestas.....	121

5.2.1.	Sustitución de postes con sección mayor	121
5.2.2.	Uso de tensores	122
5.2.3.	Encamisado estructural del poste.....	123
5.3.	Resultados del diseño estructural.....	124
5.3.1.	Sustitución por postes de mayor capacidad C.A.C.	124
5.3.2.	Redistribución de cargas mediante tensores	127
5.3.3.	Encamisado estructural del poste.....	129
5.4.	Análisis De Percepción Y Satisfacción Del Usuario	131
5.4.1.	Metodología de la encuesta.....	131
5.4.2.	Resultados de las encuestas	132
5.4.3.	Análisis de resultados	133
5.5.	Verificación De Variables e Indicadores	137
5.5.1.	Variable Independiente: Presencia de Redes de Fibra Óptica	137
5.5.2.	Variable Dependiente: Reconfiguración Estructural	137
5.5.3.	Variable Dependiente: Estabilidad Técnica.....	138
5.6.	Verificación De Hipótesis.....	139
5.7.	Conclusión del diseño estructural	140
5.8.	Conclusión del Diseño Estructural según Normativa	141
5.9.	Recomendaciones del capítulo.....	142
CONCLUSIONES.....		144
SUGERENCIAS.....		145
BIBLIOGRAFÍA.....		146
ANEXOS.....		148

Índice De Tablas

Tabla 2.1	<i>Datos Técnicos Garantizados - Postes De Concreto Centrifugado</i>	41
Tabla 2.2	<i>Características Técnicas Complementarias</i>	41
Tabla 2.3	<i>Datos Técnicos Garantizados - Postes De Concreto Centrifugado</i>	42
Tabla 2.4	<i>Datos Técnicos Garantizados - Postes De Concreto Centrifugado</i>	43
Tabla 3.1	<i>Condiciones ambientales relevantes para el diseño estructural en Urubamba</i>	60
Tabla 3.2	<i>Características de la Línea de Derivación Urubamba</i>	64
Tabla 3.3	<i>Características del transformador</i>	67
Tabla 3.4	<i>Características de los postes de media tensión</i>	69
Tabla 3.5	<i>Características de los postes de baja tensión</i>	71
Tabla 3.6	<i>Distribución de postes por material</i>	74
Tabla 3.7	<i>Distribución de postes por altura</i>	75
Tabla 3.8	<i>Cronología de instalaciones por períodos</i>	77
Tabla 3.9	<i>Distribución de postes por altura</i>	78
Tabla 3.10	<i>Ficha Técnica de Inspección de Postes de Media Tensión</i>	82
Tabla 3.11	<i>Ficha Técnica de Inspección de Postes de Baja Tensión</i>	83
Tabla 3.12	<i>Resumen de clasificación funcional de postes inspeccionados</i>	91
Tabla 3.13	<i>Postes seleccionados para el análisis estructural bajo condiciones combinadas de carga eléctrica y de fibra óptica</i>	93
Tabla 4.1	<i>Postes para análisis estructural</i>	94
Tabla 4.2	<i>Clasificación funcional de los postes analizados y su ángulo de desviación</i>	98
Tabla 4.3	<i>Comparación de esfuerzos de tiro ejercidos en cada estructura (kgf)</i>	103
Tabla 4.4	<i>Factor de Seguridad de acuerdo al tiro generado</i>	105
Tabla 4.5	<i>Resultados del cálculo mecánico de cimentación para poste de 12 m mediante el método de Sulzberger</i>	107

Tabla 4.6 <i>Resultados del cálculo mecánico de cimentación para poste de 8 m mediante el método de Sulzberger</i>	108
Tabla 4.7 <i>Desplazamientos y tensiones internas</i>	114
Tabla 4.8 <i>Esfuerzos internos del poste</i>	114
Tabla 5.1 <i>Características para el cambio de postes</i>	119
Tabla 5.2 <i>Desplazamientos máximos luego de sustitución</i>	125
Tabla 5.3 <i>Tensiones internas y factores de seguridad</i>	125
Tabla 5.4 <i>Momentos flectores máximos</i>	125
Tabla 5.5 <i>Fuerzas cortantes máximas</i>	126
Tabla 5.6 <i>Deflexión angular y deformación unitaria</i>	126
Tabla 5.7 <i>Desplazamiento máximo y ángulo de deflexión</i>	127
Tabla 5.8 <i>Tensiones internas y factor de seguridad</i>	127
Tabla 5.9 <i>Momentos flectores y fuerzas cortantes</i>	128
Tabla 5.10 <i>Deformación unitaria máxima (ϵ)</i>	128
Tabla 5.11 <i>Desplazamiento máximo y ángulo de deflexión</i>	129
Tabla 5.12 <i>Tensiones internas y factor de seguridad</i>	129
Tabla 5.13 <i>Momentos flectores y fuerzas cortantes</i>	130
Tabla 5.14 <i>Deformación unitaria máxima (ϵ)</i>	130
Tabla 5.15 <i>Matriz de ítems y escala de valoración del cuestionario aplicado</i>	132
Tabla 5.16 <i>Respuestas de las 30 Encuestas realizadas</i>	132
Tabla 5.17 <i>Distribución de respuestas por frecuencia</i>	135
Tabla 5.18 <i>Comparación de resultados</i>	140

Índice De Figuras

Figura 1.1 <i>Ubicación Geográfica de los sectores de estudio</i>	19
Figura 1.2 <i>Poste de MT con inclinación causada por la instalación de redes de fibra óptica</i>	22
Figura 2.1 <i>Componentes de un Sistema de Distribución.</i>	37
Figura 2.2 <i>Instalación de transformador en poste</i>	38
Figura 2.3 <i>Postes de distribución eléctrica</i>	39
Figura 2.4 <i>Conductores autoportantes de aluminio</i>	40
Figura 2.5 <i>Catenaria para una altura con desnivel</i>	44
Figura 2.6 <i>Catenaria para una altura con desnivel</i>	45
Figura 2.7 <i>Esfuerzos producidos en los soportes</i>	47
Figura 2.8 <i>Cargas Transversales producidas en los soportes</i>	48
Figura 2.9 <i>Vano peso para una estructura en la posición B</i>	48
Figura 2.10 <i>Disposición de una estructura cuando el vano peso es mayor que el vano viento</i>	49
Figura 2.11 <i>Disposición de una estructura cuando el vano peso es menor que el vano viento</i>	49
Figura 3.1 <i>Diagrama unifilar SET URUBAMBA</i>	63
Figura 3.2 <i>LT 6006-3 Derivación Urubamba</i>	65
Figura 3.3 <i>Transformador de potencia - SET Urubamba</i>	66
Figura 3.4 <i>Placa del transformador de potencia SET Urubamba</i>	68
Figura 3.5 <i>Poste de C.A.C. MT con nodo técnico ESE008NMT001467</i>	79
Figura 3.6 <i>Poste de concreto MT con nodo técnico ESE008NMT001354</i>	80
Figura 3.7 <i>Poste de C.A.C. MT con nodo técnico ESE008NMT001354</i>	80
Figura 3.8 <i>Poste de C.A.C. BT con nodo técnico ESE008NBT006251</i>	81

Figura 3.9 Poste de concreto BT con nodo técnico ESE008NBT022549	81
Figura 3.10 Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en BT nodos ESE008NBT006251 - ESE008NBT022549.....	86
Figura 3.11 Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en MT nodo ESE008NMT001467	87
Figura 3.12 Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en MT nodo ESE008NMT001354	88
Figura 3.13 Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en MT nodo ESE008NMT001579	89
Figura 3.14 Clasificación de acuerdo a la función estructural de los postes del alimentador UR 01.....	90
Figura 4.1 Configuración de las condiciones críticas	96
Figura 4.2 Vista de perfil para el ESE008NMT001467 condición inicial	98
Figura 4.3 Vista de perfil para el ESE008NMT001354 condición inicial	99
Figura 4.4 Vista de perfil para el ESE008NMT001579 condición inicial	99
Figura 4.5 Vista de perfil para el ESE008NBT006251 condición inicial.....	100
Figura 4.6 Vista de perfil para el ESE008NBT022549 condición inicial.....	100
Figura 4.7 Vista de perfil para el ESE008NMT001467 con carga adicional por instalación de FO	101
Figura 4.8 Vista de perfil para el ESE008NMT001354 con carga adicional por instalación de FO	101
Figura 4.9 Vista de perfil para el ESE008NMT001579 con carga adicional por instalación de FO	102
Figura 4.10 Vista de perfil para el ESE008NBT006251 con carga adicional por instalación de FO	102

Figura 4.11 <i>Vista de perfil para el ESE008NBT022549 con carga adicional por instalación de FO</i>	102
Figura 4.12 <i>Diagrama de cargas y reacciones en cimentación de poste C.A.C.</i>	106
Figura 4.13 <i>Configuración de parámetros estructurales en el entorno de modelado</i>	109
Figura 4.14 <i>Modelado de la estructura para el análisis estructural.</i>	110
Figura 4.15 <i>Asignación de propiedades mecánicas y materiales del poste.</i>	111
Figura 4.16 <i>Selección del tipo de apoyo empotrado en la base del poste.</i>	111
Figura 4.17 <i>Asignación de cargas, a la estructura.</i>	112
Figura 4.18 <i>Aplicación de carga distribuida por acción del viento sobre el eje del poste.</i> ..	113
Figura 4.19 <i>Vista de las deflexiones y desplazamientos.</i>	115
Figura 4.20 <i>Interfaz gráfica de la herramienta de validación en Python.</i>	118
Figura 5.1 <i>Modelo con el dimensionamiento del poste de mayor sección y carga de rotura.</i>	121
Figura 5.2 <i>Modelamiento estructural del nuevo poste C.A.C. en SAP2000.</i>	122
Figura 5.3 <i>Modelo estructural con tensores en conductores y fibra óptica.</i>	122
Figura 5.4 <i>Modelo del poste con varillas de acero longitudinal.</i>	123
Figura 5.5 <i>Modelo del poste con camisa de refuerzo estructural.</i>	123
Figura 5.6 <i>Vista de deflexiones del poste reforzado con encamisado.</i>	124
Figura 5.7 <i>Matriz de Correlación entre Preguntas (Escala Likert 1-5).</i>	134
Figura 5.8 <i>Distribución de Respuestas - Diagramas Circulares por Pregunta.</i>	136

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

BT – Baja Tensión

MT – Media Tensión

FO – Fibra Óptica

CT – Centro de Transformación

CD – Carga Distribuida

CAL – Cálculo de Conductores Aéreos

LR – Línea de Retención

ICC – Corriente de Cortocircuito

ZTR – Impedancia del Transformador

RF – Resistencia del Conductor

XL – Reactancia Lineal

ΔV – Caída de Tensión

IEC – International Electrotechnical Commission

PD – Poste de Distribución

UGS – Utilización de la Geometría de Separación

EMT – Esfuerzo Máximo del Tensor

ACC – Capacidad de Corriente Admisible del conductor

CNDC – Centro Nacional de Despacho de Carga

RCU – Resistencia por Unidad de Longitud

DGE – Dirección General de Electricidad

CS – Relación entre la carga máxima que un conductor puede soportar y la carga real a la que está sometido en operación.

FS – Parámetro que expresa la relación entre la resistencia última del poste (capacidad estructural) y las cargas de servicio a las que estará expuesto.

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

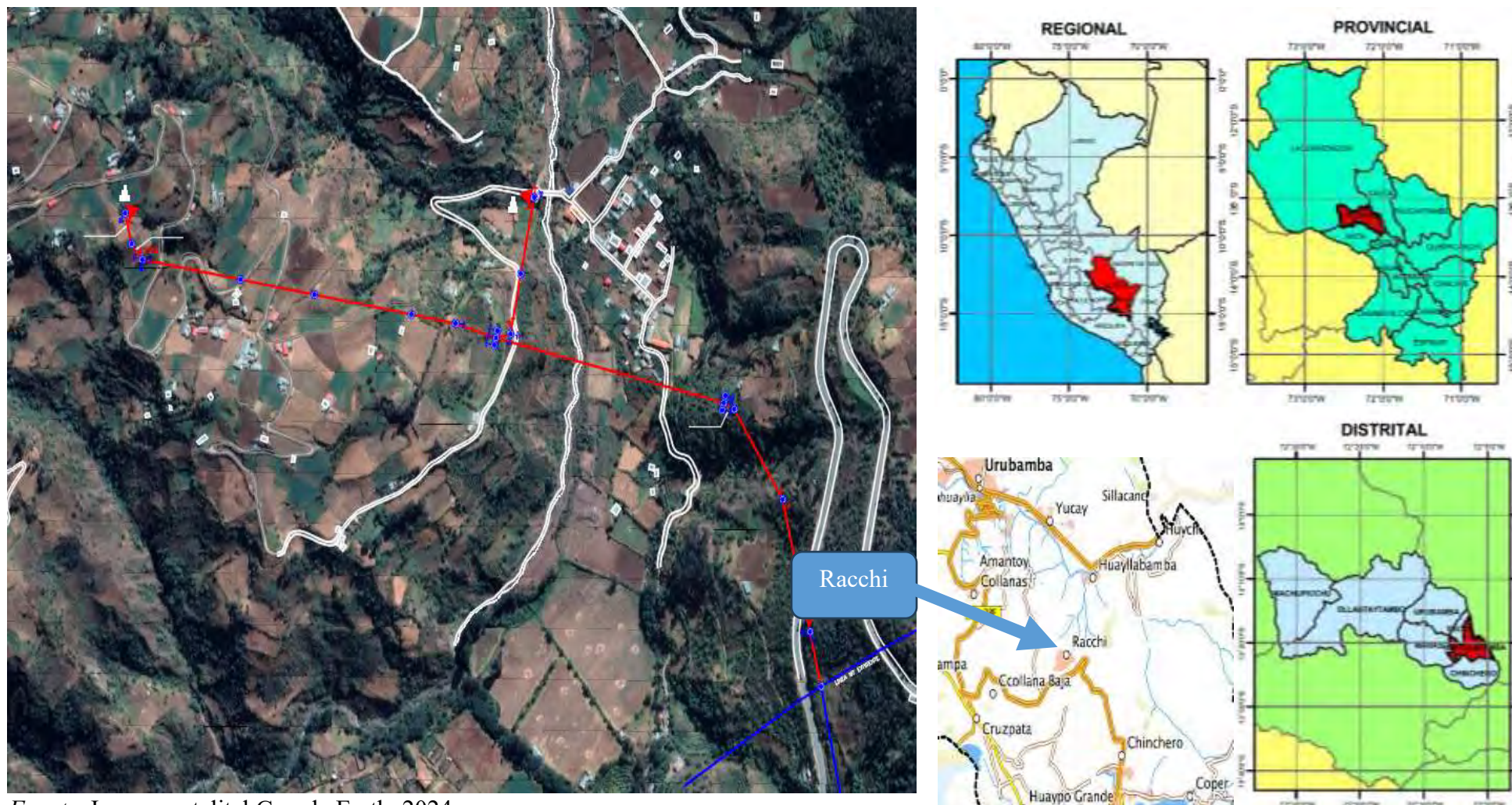
1.1. Ubicación Geográfica

El presente estudio se desarrollará en los sectores de Racchi, ubicado en el distrito de Huayllabamba, provincia de Urubamba, departamento del Cusco. El área de investigación comprende los tramos de media tensión (MT) y baja tensión (BT) del alimentador UR 01, el cual es administrado por la empresa concesionaria de la zona, ya que en esta región se ha identificado que la coexistencia de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones ha generado desafíos técnicos significativos que requieren una evaluación estructural urgente.

Cabe destacar que la empresa concesionaria opera dentro de una amplia área que abarca las regiones de Cusco, Apurímac y Madre de Dios, además de los distritos de Cayarani en Arequipa y Sucre en Ayacucho; sin embargo, para los fines de esta investigación, se ha seleccionado específicamente el sector de Racchi en el distrito de Huayllabamba debido a que presenta condiciones representativas de los problemas estructurales que se busca analizar y resolver mediante las propuestas de reconfiguración planteadas en este estudio.

Figura 1.1

Ubicación Geográfica de los sectores de estudio



Fuente. Imagen satelital Google Earth, 2024

1.2. El Problema

El acceso confiable a la energía eléctrica constituye un pilar fundamental para el desarrollo social y económico de las comunidades, al permitir la prestación de servicios básicos como iluminación, refrigeración, bombeo de agua y funcionamiento de equipos médicos y educativos. Paralelamente, el crecimiento acelerado de la demanda de conectividad digital ha impulsado la expansión de redes de fibra óptica, tecnología esencial para el acceso a la información, la educación en línea, el teletrabajo y la innovación productiva.

Ante esta necesidad, se ha optado por aprovechar la infraestructura eléctrica existente como soporte físico para el tendido de redes de fibra óptica, utilizando postes de media tensión (MT) y baja tensión (BT) como elementos estructurales compartidos. Esta práctica, conocida como uso compartido de infraestructura, busca reducir costos y evitar impactos visuales o ambientales negativos derivados de la instalación de nuevas estructuras.

Sin embargo, los postes eléctricos no fueron diseñados originalmente para soportar cargas adicionales provenientes de cables de telecomunicaciones, retenidas o accesorios, lo que puede generar sobrecargas, pandeos y fisuras en el concreto, así como incrementos en los esfuerzos de tiro y momentos flectores. Estas deficiencias se acentúan en vanos largos o en zonas con alta densidad de cables, comprometiendo la seguridad estructural y la continuidad del servicio eléctrico.

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE-Suministro, 2011), específicamente en sus capítulos sobre estructuras de soporte y esfuerzos mecánicos permisibles, toda instalación aérea debe diseñarse considerando las cargas máximas combinadas de viento, peso propio y cables instalados, garantizando factores de seguridad mayores o iguales a 2,0. Asimismo, la Norma Técnica Peruana NTP 339.004 y la Norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establecen que los elementos estructurales

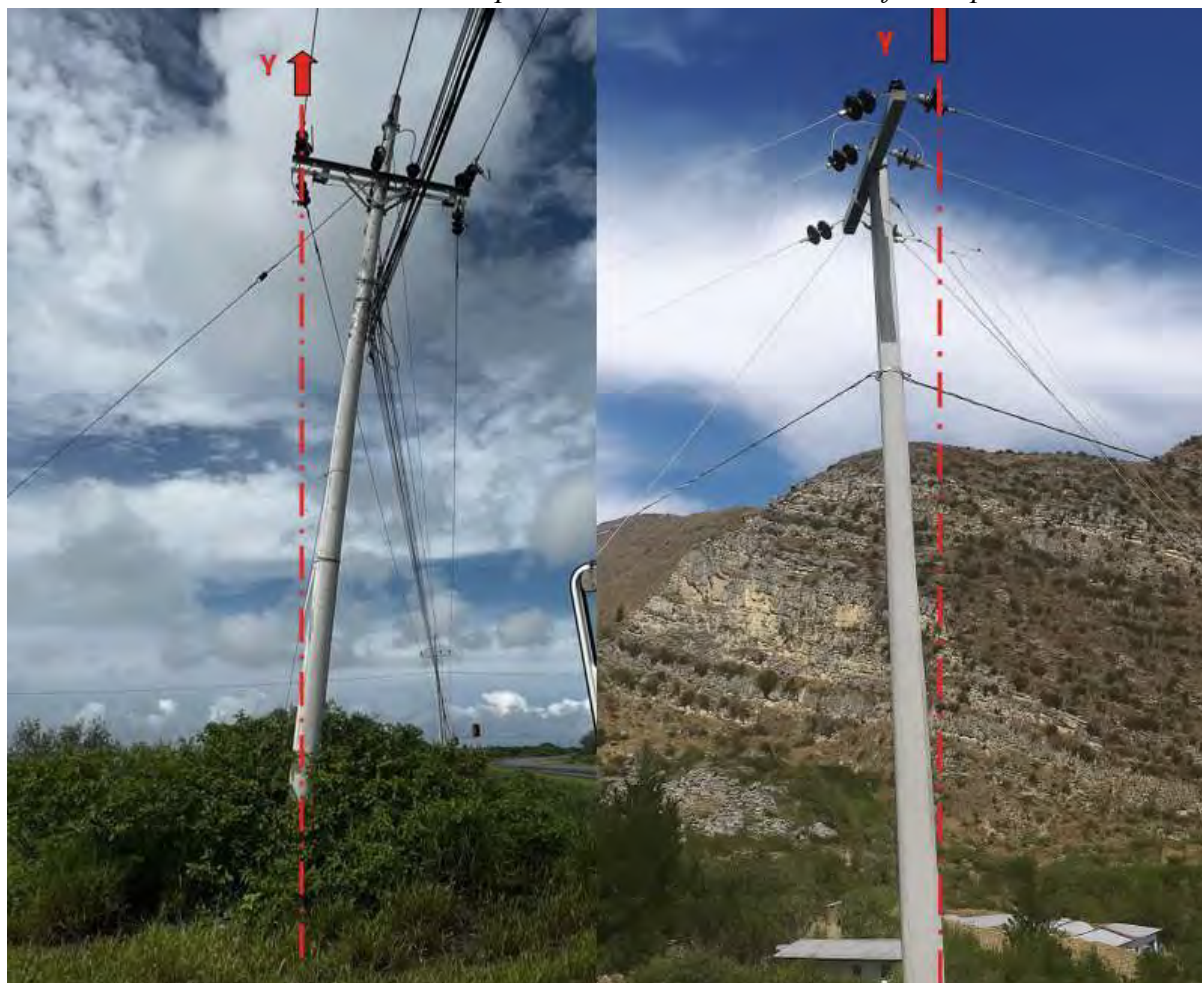
de concreto deben mantener sus deformaciones dentro de los límites elásticos admisibles y cumplir con los estados límite último y de servicio.

No obstante, en los sectores de Urubamba, provincia de Urubamba, Cusco, pertenecientes al alimentador UR-01 de la empresa concesionaria, se han observado postes con fisuras, inclinaciones y deformaciones visibles, indicativos de una sobreexigencia estructural atribuible a la instalación de redes de fibra óptica sin un rediseño previo conforme a los criterios normativos mencionados. Esta situación representa un riesgo técnico y de seguridad pública, además de incumplir potencialmente las disposiciones del CNE-Suministro respecto a estabilidad estructural y esfuerzos admisibles.

A continuación, se presentan fotografías que evidencian postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba con signos de sobrecarga debido a la instalación de redes de fibra óptica.

Figura 1.2

Poste de MT con inclinación causada por la instalación de redes de fibra óptica



Fuente. Reporte fotográfico Alimentador UR 01.

Estas imágenes permiten identificar deformaciones, inclinaciones y esfuerzos excesivos en las estructuras, destacando la importancia de evaluar su capacidad estructural y desarrollar propuestas de reconfiguración que aseguren la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Es posible plantear una alternativa de reconfiguración estructural para los postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024 debido a la presencia de redes de fibra óptica?

1.3.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál es el estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024?
2. ¿Cómo determinar la resistencia mecánica y el comportamiento estructural de los postes de media y baja tensión sometidos a cargas mecánicas combinada?
3. ¿Cómo se puede mitigar los esfuerzos estructurales generados por la instalación adicional de redes de fibra óptica sobre los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Proponer una alternativa de reconfiguración estructural para los postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024, debido a la presencia de redes de fibra óptica.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, mediante una evaluación integral de su condición física, técnica y estructural.
2. Aplicar herramientas de modelado computacional para evaluar y analizar el comportamiento estructural de los postes de media y baja tensión sometidos a cargas mecánicas, con el fin de determinar su resistencia mecánica bajo condiciones reales y críticas de operación.
3. Evaluar las alternativas de reconfiguración estructural propuestas para mitigar los esfuerzos generados por la instalación adicional de redes de fibra óptica, garantizando la durabilidad, estabilidad y seguridad de la infraestructura eléctrica existente.

1.5. *Justificación del Trabajo*

La instalación de redes de fibra óptica en postes existentes plantea desafíos significativos en vanos de larga distancia, donde la capacidad estructural de los postes puede verse comprometida debido a la carga adicional de estos cables. La falta de una evaluación exhaustiva de la integridad estructural de los postes en estos escenarios puede resultar en riesgos de seguridad, interrupciones en el servicio y costos adicionales de mantenimiento a largo plazo.

Por lo tanto, este estudio se justifica como una iniciativa para abordar esta problemática y proporcionar una comprensión más profunda de los desafíos asociados con la instalación de redes de fibra óptica en vanos de larga distancia. La investigación se enfocará en realizar evaluaciones estructurales de los postes existentes, identificar posibles puntos de debilidad y proponer soluciones efectivas para garantizar la seguridad y la estabilidad de la infraestructura.

1.6. *Alcances y Limitaciones*

1.6.1. Alcances

Realizar un análisis del estado actual de los postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco, pertenecientes al alimentador UR 01.

Evaluar el comportamiento estructural de los postes de MT y BT frente a la presencia de redes de fibra óptica en los sectores mencionados.

Aplicar estrategias para mitigar los esfuerzos generados por la instalación de fibra óptica y garantizar la durabilidad y seguridad de la infraestructura existente.

1.6.2. Limitaciones

Acceso limitado a la información sobre el estado actual de los postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco, lo que podría afectar la precisión de la evaluación estructural inicial.

Restricciones en la disponibilidad de recursos financieros, tecnológicos o de personal para llevar a cabo un análisis estructural preciso de los postes y la instalación de fibra óptica.

Aunque las herramientas de software empleadas son técnicamente sólidas y ampliamente validadas, este análisis presenta limitaciones importantes derivadas de las simplificaciones del modelo. Se asumió un comportamiento elástico y lineal de los materiales, lo que no considera el comportamiento no lineal real. La mecánica de suelos se idealizó como un empotramiento rígido, sin modelar la interacción real del suelo con la estructura, lo que no refleja el efecto de las propiedades del terreno o la humedad. Adicionalmente, el estudio se centró en cargas estáticas, omitiendo el análisis la fatiga en los materiales. Estas simplificaciones son esenciales para la viabilidad del estudio, pero implican que los resultados deben ser considerados como una aproximación para identificar los puntos críticos, no como un reflejo exacto del comportamiento estructural.

1.7. Hipótesis de la Investigación

1.7.1. Hipótesis General

La aplicación de una alternativa de reconfiguración estructural en los postes de media y baja tensión de Urubamba, Cusco, permitirá integrar de manera segura la carga adicional generada por las redes de fibra óptica, optimizando la infraestructura existente y garantizando su estabilidad técnica, y la confianza del usuario.

1.7.2. Hipótesis Específicas

1. El estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba presenta deficiencias estructurales visibles fisuras, inclinación y sobrecarga de redes, lo que representa un riesgo para la continuidad del servicio eléctrico y la seguridad pública.
2. Mediante la aplicación de herramientas de análisis computacional, es posible determinar con precisión la resistencia mecánica y el comportamiento estructural de los postes de

media y baja tensión bajo cargas mecánicas combinadas, lo que permitirá mejorar los criterios de gestión y mantenimiento de la infraestructura eléctrica.

3. La reconfiguración estructural como la sustitución por postes de mayor capacidad, el uso de tensores y el encamisado estructural permite mitigar de manera efectiva los esfuerzos generados por la instalación adicional de redes de fibra óptica, garantizando la durabilidad y seguridad de la infraestructura existente.

1.8. Operacionalización de variables

Variable Independiente				
Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Unidad/Instrumento
Presencia de redes de fibra óptica	"Se refiere a la existencia e implementación de infraestructuras de comunicación basadas en cables de fibra óptica para la transmisión de datos, voz y video. Esto implica la instalación de cables de fibra óptica a lo largo de rutas específicas para proporcionar servicios de telecomunicaciones a áreas geográficas determinadas" (Kuhn y Karl, 2013).	Carga adicional	Peso unitario del cable de fibra óptica	[kgf/m] Ficha técnica del fabricante / Catálogo
		Configuración de vanos	Longitud de vano con FO	[m] GPS / Google Earth / AutoCAD
		Número de cables	Cantidad de cables de FO por poste	[Und.] Ficha de campo
Variable Dependiente				
Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Unidad/Instrumento
Reconfiguración estructural	"Proceso de rediseño o modificación de las estructuras de soporte (postes) con el fin de optimizar su resistencia mecánica frente a nuevas cargas, garantizando su cumplimiento con las normas técnicas vigentes" (Adaptado de Jokinen y Kekkonen, 2018).	Resistencia mecánica	Factor de seguridad (F.S.)	[Adimensional] SAP2000 / DLTCAD /
		Estabilidad	Desplazamiento máximo del poste	[cm] SAP2000 /
		Esfuerzos internos	Tensión máxima en el material	[MPa] SAP2000 / DLTCAD / Software de simulación estructural

1.9. Población y Muestra

1.9.1. Población

La población son todos los postes de MT y BT afectados por la instalación adicional de redes de fibra óptica en la misma área y ubicados en los sectores de Urubamba- Cusco.

1.9.2. Muestra

La muestra consiste en la selección representativa de postes de media tensión (MT) y baja tensión (BT) dentro de los sectores de Urubamba, Cusco, abarcando una variedad de condiciones estructurales y ubicaciones geográficas.

1.10. Metodología

1.10.1. Enfoque de la Investigación

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que su objetivo principal es proponer y validar una solución técnica mediante el análisis de variables medibles. Como señala Hernández Sampieri (2018), "el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica para establecer patrones de comportamiento y probar teorías" (p. 4). En este estudio, tanto la variable independiente (presencia de redes de fibra óptica, cuantificada a través de peso, número de cables y tipo de sujeción) como la variable dependiente (desempeño estructural-mecánico, medida mediante esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad) son esencialmente cuantificables.

1.10.2. Tipo de Investigación

El estudio se clasifica como investigación aplicada porque busca generar conocimiento para resolver un problema práctico y concreto en un contexto específico. Según Hernández Sampieri (2018), la investigación aplicada "busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren en la solución de problemas específicos" (p. 62). Este proyecto no solo diagnostica el problema (deficiencias estructurales por carga adicional de fibra óptica), sino que diseña y evalúa mediante simulación una alternativa de reconfiguración estructural

tangible, destinada a ser implementada por la empresa distribuidora Electro Sur Este SAA en los alimentadores de Urubamba. La validación mediante software especializado (SAP 2000, DLTCAD) confirma su orientación hacia la aplicación práctica.

1.10.3. Nivel de Investigación

El nivel es predominantemente descriptivo, con componentes explicativos y proyectivos. En su fase inicial, el estudio se centra en "medir con la mayor precisión posible fenómenos o características de una población o situación específica" (Hernández Sampieri, 2018, p. 106), al diagnosticar el estado actual de los postes mediante observación y medición directa. Posteriormente, adquiere un carácter explicativo al analizar la relación causa-efecto entre la carga de la fibra óptica y los esfuerzos estructurales. Finalmente, se torna proyectivo o propositivo al formular y validar una alternativa de solución. Esta combinación es coherente con el objetivo de no solo describir la realidad, sino también comprenderla y transformarla mediante una propuesta técnica fundamentada.

1.10.4. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló a partir de la recopilación, observación y análisis de información técnica correspondiente al alimentador UR 01, considerando sus condiciones reales de operación durante el período de estudio. La información empleada corresponde al año 2024, permitiendo obtener un diagnóstico del estado estructural del sistema eléctrico sin intervenir directamente sobre la infraestructura existente (Hernández Sampieri, 2018).

Para la validación de las hipótesis relacionadas con la eficacia de las alternativas de reconfiguración propuestas, se realizaron simulaciones comparativas mediante modelos computacionales del sistema eléctrico, evaluando el comportamiento estructural antes y después de la implementación de cada alternativa propuesta. Estas simulaciones fueron desarrolladas utilizando software especializado (DLTCAD y SAP2000), lo que permitió

analizar el desempeño técnico de las configuraciones planteadas bajo condiciones controladas y representativas, sin modificar las condiciones reales de operación del sistema.

1.10.5. Método de Investigación

El método es principalmente deductivo, complementado con procesos inductivos, analíticos y sintéticos. Se parte de una deducción a partir de principios teóricos establecidos (leyes de la mecánica de materiales, normativas técnicas) y de la hipótesis general sobre la mejora estructural para derivar predicciones comprobables (diseño de la reconfiguración, parámetros a simular). Concurrentemente, se emplea la inducción al extraer conclusiones generales sobre la vulnerabilidad del sistema a partir de observaciones particulares en campo. El método analítico se aplica al descomponer el sistema poste-cargas en sus componentes para estudiar sus interacciones y esfuerzos individuales, mientras que el sintético es fundamental para integrar esos análisis en un diseño de reconfiguración coherente y en una evaluación integral del desempeño global de la estructura propuesta. Esta combinación metodológica es apropiada para un problema de ingeniería que requiere tanto el rigor de la deducción teórica como la generación de conocimiento a partir de la evidencia empírica.

1.11. Técnicas de Recolección de Datos

Implicaría una evaluación del estado de los postes de MT y BT, tanto técnica como físicamente, así como los parámetros mecánicos de las redes de fibra óptica.

1.12. Análisis de Datos

El análisis de los datos recopilados se llevará a cabo mediante los siguientes programas:

- o Excel: Los datos estructurales, junto con los resultados de los análisis de carga, se presentarán en Excel para su organización y procesamiento
- o DLTCAD - AUTOCAD: Se empleará AutoCAD y DLTCAD para crear modelos detallados de los postes de media y baja tensión, representando sus dimensiones, materiales y condiciones actuales.

- o SAP2000: Utilizando herramientas de análisis estructural en SAP2000, se determinarán las zonas de mayor vulnerabilidad en los postes. Los datos obtenidos serán comparados con las normas de diseño y seguridad para garantizar la integridad de la infraestructura ante la incorporación de redes de fibra óptica.
- o Google Earth: A través de Google Earth, se podrán visualizar las ubicaciones geográficas de los postes en los sectores de Urubamba, lo que facilitará la evaluación de la distribución de los postes y las condiciones del terreno en relación con la instalación de la fibra óptica
- o Word: Finalmente, los resultados serán documentados y presentados en Word, detallando el proceso de análisis, los hallazgos, y las recomendaciones de reconfiguración estructural, todo basado en los datos obtenidos y las simulaciones realizadas.

1.13. Validez de las Variables de las Hipótesis

La validez de las variables de las hipótesis planteadas se analizará desde diferentes perspectivas, respaldadas por fuentes teóricas, normativas, evidencias fotográficas y opiniones técnicas. A continuación, se describen las fuentes de validación que se utilizarán para sustentar las hipótesis de la investigación:

- a) **Opiniones Técnicas:** Las opiniones de profesionales en ingeniería eléctrica validarán las hipótesis, aportando un enfoque práctico sobre los aspectos estructurales y de carga de los postes, provenientes de profesionales con experiencia en redes eléctricas.
- b) **Evidencia Fotográfica:** La evidencia fotográfica se utilizará para documentar el estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba. Las fotografías capturadas en el terreno servirán como prueba visual de las condiciones estructurales de los postes. Esta evidencia complementará los cálculos y análisis realizados.
- c) **Normas Técnicas:** La validez de las hipótesis se respaldará con normativas nacionales, como la Norma Técnica Peruana NTP para el diseño de postes eléctricos y el Código Nacional de Electricidad.

- d) **Marco Teórico:** El marco teórico incluye una revisión de estudios previos y teorías relacionadas con la reconfiguración estructural de postes de media y baja tensión. Las teorías de resistencia de materiales, distribución de cargas y optimización de infraestructuras serán fundamentales para sustentar las hipótesis y proporcionar una base sólida para el análisis estructural.

1.14. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema General ¿Es posible plantear una alternativa de reconfiguración estructural para los postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024 debido a la presencia de redes de fibra óptica?	Objetivo General Proponer una alternativa de reconfiguración estructural para los postes de media tensión y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024, debido a la presencia de redes de fibra óptica.	Hipótesis General La aplicación de una alternativa de reconfiguración estructural en los postes de media y baja tensión de Urubamba, Cusco, permitirá integrar de manera segura la carga adicional generada por las redes de fibra óptica, optimizando la infraestructura existente y garantizando su estabilidad técnica, y la confianza del usuario.	a) Tipo de Investigación • Aplicada b) Nivel de Investigación • Descriptiva c) Método de Investigación • Deductivo d) Diseño de la Investigación • No experimental e) Enfoque de la Investigación • Cuantitativo
Problemas Específicos a.¿Cuál es el estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024? b.¿Cómo determinar la resistencia mecánica y el comportamiento estructural de los postes de media y baja tensión sometidos a cargas mecánicas combinada? c.¿Cómo se puede mitigar los esfuerzos estructurales generados por la instalación adicional de redes de fibra óptica sobre los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, Cusco 2024?	Objetivos Específicos a.Diagnosticar el estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba, mediante una evaluación integral de su condición física, técnica y estructural. b.Aplicar herramientas de modelado computacional para evaluar y analizar el comportamiento estructural de los postes de media y baja tensión sometidos a cargas mecánicas, con el fin de determinar su resistencia mecánica bajo condiciones reales y críticas de operación. c.Evaluar las alternativas de reconfiguración estructural propuestas para mitigar los esfuerzos generados por la instalación adicional de redes de fibra óptica, garantizando la durabilidad, estabilidad y seguridad de la infraestructura eléctrica existente.	Hipótesis Específicas a.El estado actual de los postes de media y baja tensión en los sectores de Urubamba presenta deficiencias estructurales visibles fisuras, inclinación y sobrecarga de redes, lo que representa un riesgo para la continuidad del servicio eléctrico y la seguridad pública. b.Mediante la aplicación de herramientas de análisis computacional, es posible determinar con precisión la resistencia mecánica y el comportamiento estructural de los postes de media y baja tensión bajo cargas mecánicas combinadas, lo que permitirá mejorar los criterios de gestión y mantenimiento de la infraestructura eléctrica. c.La reconfiguración estructural como la sustitución por postes de mayor capacidad, el uso de tensores y el encamisado estructural permite mitigar de manera efectiva los esfuerzos generados por la instalación adicional de redes de fibra óptica, garantizando la durabilidad y seguridad de la infraestructura existente.	

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. *Antecedentes de la Investigación*

- a) Según (Huaman Loayza y Usca Abal, 2022, p. 162): **“Implementación De La Red De Acceso A Internet Por Fibra Óptica Para El Desarrollo De Las Clases Virtuales De La Institución Educativa Wiñaypaq De La Comunidad Campesina De Huandar Del Distrito De Pisac”**, Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Cusco 2022.

Objetivo

“Implementar la red de acceso a internet por fibra óptica para el desarrollo de las clases virtuales de la institución educativa Wiñaypaq de la comunidad campesina de Huandar del distrito de Pisac” (Huaman Loayza y Usca Abal, 2022, p. 162).

Conclusiones

“El tendido de fibra óptica permitió eliminar la barrera de acceso a internet en la comunidad, haciendo que los estudiantes puedan realizar sus clases virtuales sin inconvenientes, para realizar un correcto tendido de fibra óptica y salvaguardar las condiciones de seguridad de las personas, se tiene que seguir las recomendaciones de la unión internacional de telecomunicaciones UIT-T-G y del código nacional de electricidad” (Huaman Loayza y Usca Abal, 2022).

- b) Según (Alvarado Silva, 2021, p. 132): **“Análisis De La Resistencia Estructural De Soportes Eléctricos (Postes De Cac), Estudio De Caso En La Región La Libertad”**, Universidad Señor de Sipán, Pimentel – Perú 2021.

Objetivo

“Analizar la resistencia estructural de soportes eléctricos (tipos CAC) aplicado en un estudio de caso en la Región La Libertad. Desarrollar un procedimiento de cálculo que

relacione los parámetros y diferentes casos que influyan en la resistencia estructural, aplicado en un caso de la Región La Libertad” (Alvarado Silva, 2021, p. 132).

Conclusiones

- “Los postes de Concreto Armado Centrifugado son fabricados por entidades certificadas y calificadas a fin de cumplir con ciertos estándares, detallados en apartado anteriores de esta investigación, dentro de los parámetros más resaltantes tenemos es que la carga de trabajo será igual o mayor a 2 (Factor de seguridad), y las cargas de trabajo están normadas en función a la altura y tipo de trabajo a realizar para este caso en particular el poste estudiado lleva la siguiente nomenclatura 13/300” (Alvarado Silva, 2021).
 - “Los parámetros que influyen en la vida útil de los Postes CAC, dependen principalmente de las condiciones climáticas en las cuales desempeñara su trabajo y a su vez de la calidad de los mismo, asumiendo que se cumplen los estándares de fabricación, su vida útil depende directamente de la carga de trabajo y las fluctuaciones climáticas, como el viento, nieve, hielo, frio o calor” (Alvarado Silva, 2021).
- c) Según (Yujra Tarqui, 2023, p. 125): **“Calculo Mecánico De Fibra Óptica De Trasmisión En Ciudad De Bolívar”**, Universidad Mayor De San Andrés, La Paz – Bolivia 2023.

Objetivo

“Es proporcionar a la empresa en la que se realizó, todo el apoyo posible con los conocimientos que se aprendieron en nuestra querida carrera de Electrónica y Telecomunicaciones tanto física como intelectualmente y paralelamente aprender el trabajo que se desarrolla en una empresa, puesto que es completamente diferente realizar una práctica en la universidad a realizarlo en una empresa ya que se debe tener el mínimo margen de error para tener un servicio de calidad demostrando a la empresa toda nuestra capacidad adquirida con los años de estudio” (Yujra Tarqui, 2023, p. 125).

Conclusiones

“Evitar que los cables de red estén cerca de los cables de corriente eléctrica no deben ir en la misma canalización. Es importante tener en cuenta que la manipulación de un cable de fibra óptica, es más delicada que un cable de Cobre tradicional para telecomunicaciones, un dato a considerar es la Flexibilidad. Sabemos que normalmente la fibra es de Vidrio, por lo que debemos tener presente que una curva excesiva o dobles muy pronunciado del cable puede romper o quebrar internamente el hilo de fibra óptica. Otro problema de la curvatura es que cambia las características físicas de la fibra óptica, por lo cual debemos evitar el doblar en exceso el Cable la Luz ya que esto se traduce en un aumento de pérdidas de Energía de la señal, es decir, mayor Atenuación” (Yujra Tarqui, 2023, p. 125).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de Distribución Eléctrica

“Un sistema de distribución es un conjunto de elementos y equipos encargados del transporte de energía eléctrica y se encuentra compuesto por; redes de subtransmisión, subestaciones de distribución, alimentadores primarios, transformadores de distribución y redes de baja tensión dentro de las zonas urbanas”. (DGE–MINEM; CNE–Suministro).

2.2.1.1. Red de Distribución de Energía Eléctrica

“Una red de distribución eléctrica, es parte del sistema de suministro eléctrico y las empresas distribuidoras de electricidad son las responsables. La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación se realiza en dos etapas.

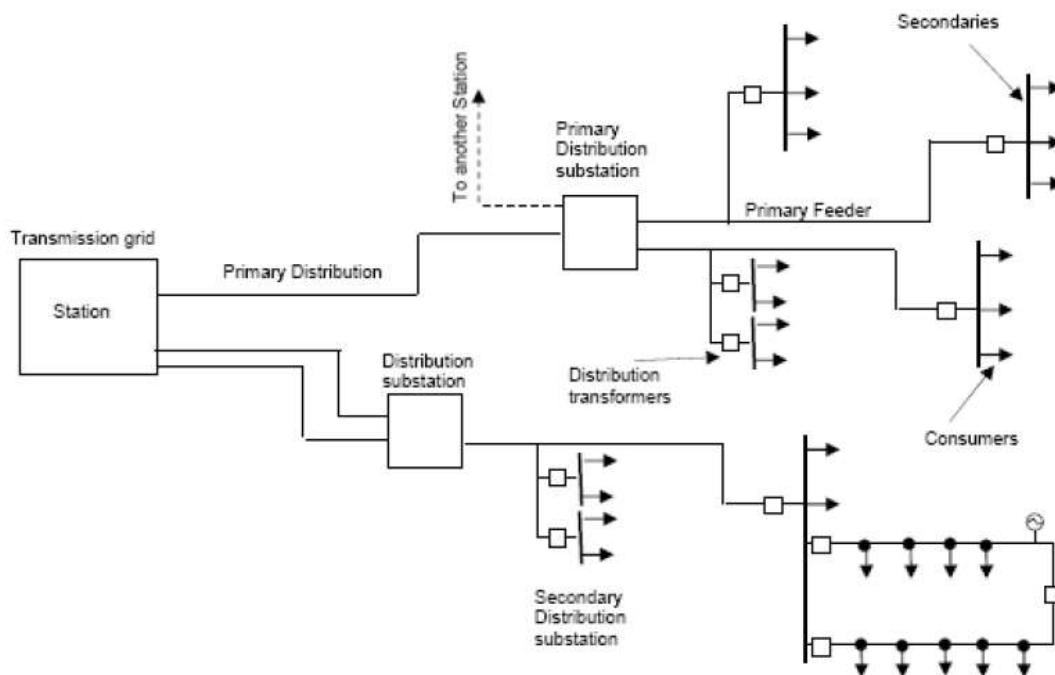
La primera etapa está constituida por las subestaciones de transformación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), las cuales distribuyen la energía eléctrica, generalmente de forma radial, hacia las estaciones transformadoras de distribución que abastecen los principales centros de consumo del Perú, tanto urbanos como rurales.

La segunda etapa está conformada por las redes de media tensión, con niveles de operación que en el Perú normalmente varían entre 10 kV, 13.2 kV, 22.9 kV y 33 kV,

operando predominantemente bajo esquemas radiales. Estas redes cubren áreas urbanas, periurbanas e industriales, conectando las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación o subestaciones de distribución. En esta última etapa, la energía es transformada a niveles de baja tensión, usualmente 380/220 V o 400/230 V, para el suministro final a los usuarios residenciales, comerciales e industrial” (DGE–MINEM; CNE–Suministro).

Figura 2.1

Componentes de un Sistema de Distribución.



Fuente. Méndez Triveño, 2016.

2.2.1.2. Planificación del Sistema de Distribución

La planificación es una actividad muy importante para una red de distribución, donde se evalúa el costo de instalación de nuevos equipos, la confiabilidad del sistema de distribución, minimización de pérdidas, considerando el crecimiento poblacional.

Minimizar el costo del sistema de distribución es un gran reto. Simplemente un sistema con un solo alimentador asociado, presenta varias posibilidades de diseño al planificador.

El uso de herramientas computacionales ha sido primordial para dar lugar a programas de optimización que ayudan al planificador a encontrar el mejor diseño. Estos programas nunca consideran todos los aspectos del problema, pero la mayoría incluye aproximaciones. (Méndez Triveño, 2016).

2.2.1.3. Transformador de Distribución

“Un transformador de distribución es un equipo eléctrico destinado a reducir los niveles de tensión de la energía eléctrica para su utilización en sistemas residenciales, comerciales e industriales. Generalmente se ubica próximo a los usuarios finales y cumple la función de transformar la energía desde niveles de media tensión hacia niveles de baja tensión adecuados para el consumo. En el Perú, según las disposiciones de la Dirección General de Electricidad (DGE) del Ministerio de Energía y Minas, los niveles normalizados de tensión secundaria para sistemas de distribución comprenden principalmente 380/220 V y 440/220 V, dependiendo de las características del sistema y la zona de concesión. Estos transformadores son fundamentales para garantizar el suministro eléctrico seguro y eficiente, contribuyendo además a la reducción de pérdidas técnicas en la red de distribución (DGE–MINEM; Glover y Sarma, 2012).

Figura 2.2

Instalación de transformador en poste



Fuente. (Méndez Triveño, 2016).

2.2.1.4. Poste de distribución

“Un poste es una estructura vertical utilizada en la red de distribución eléctrica para sostener conductores eléctricos, transformadores y otros equipos relacionados. Los postes se fabrican con diversos materiales, como madera, concreto o acero, y se instalan a intervalos regulares a lo largo de las líneas eléctricas. Su función principal es mantener los conductores a una altura segura sobre el suelo y asegurar la integridad de la infraestructura eléctrica, evitando el contacto accidental y garantizando la seguridad pública” (Glover y Sarma, 2012).

Figura 2.3

Postes de distribución eléctrica



Fuente. (Méndez Triveño, 2016).

2.2.1.5. Conductores

“Los conductores son materiales que permiten el paso de corriente eléctrica. En los sistemas de distribución eléctrica, se utilizan para transportar la electricidad desde los transformadores hasta los consumidores finales. Los conductores están hechos comúnmente de cobre o aluminio, seleccionados por su alta conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. Existen diferentes tipos de conductores, como los de baja tensión para uso

doméstico y los de alta tensión para líneas de transmisión. El diseño adecuado y la selección de los conductores son fundamentales para la eficiencia y seguridad del sistema de distribución eléctrica” (Glover y Sarma, 2012).

Figura 2.4

Conductores autoportantes de aluminio



Fuente. (TECSUR, 2023).

2.2.2. Tipos de Postes y sus Características

2.2.2.1. Postes de Concreto

Los postes de concreto son estructuras ampliamente utilizadas en redes de distribución eléctrica debido a su alta resistencia a la intemperie, durabilidad y bajo mantenimiento. Se fabrican mediante procesos de centrifugado o vibrado, lo que les confiere una densidad y resistencia homogénea. Son ideales para zonas con alta corrosividad o condiciones climáticas severas.

Tabla 2.1*Datos Técnicos Garantizados - Postes De Concreto Centrifugado*

Nro	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD		
			8m	8m
1	CONCRETO	-	CENTRIFUGADO	CENTRIFUGADO
2	TIPO	-	CPC-8	CPC-8
3	NORMAS DE FABRICACIÓN	-	ITINTEC 339-027 / NTP 399.100	ITINTEC 339-027 / NTP 399.100
4	LONGITUD DEL POSTE	m	8	8
5	DIÁMETRO EN LA CIMA	mm	150	140
6	DIÁMETRO EN LA BASE	mm	270	260
7	CARGA DE ROTURA A 0,20m DE LA BASE	kg	300 NTP 339.027	200 NTP 339.027
8	MASA POR UNIDAD	kg	710	634

Fuente. Los valores de masa deben ser calculados en base a la densidad del concreto ($\approx 2400 \text{ kg/m}^3$) y las dimensiones geométricas de cada poste. Adaptado de Norma ITINTEC 339-027 y NTP 399.100 - Especificaciones para postes de concreto centrifugado.

Tabla 2.2*Características Técnicas Complementarias*

Nro	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD		
			8m	8m
9	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	MPa	40	40
10	REFUERZO LONGITUDINAL	-	6Ø8mm	6Ø8mm
11	REFUERZO TRANSVERSAL	-	Ø4mm@150mm	Ø4mm@150mm
12	MOMENTO DE ROTURA	kN·m	12.5	8.3
13	CARGA ADMISIBLE EN PUNTA	kN	6.8	4.5
14	VIDA ÚTIL ESTIMADA	años	40	40

Fuente. Los valores de masa deben ser calculados en base a la densidad del concreto ($\approx 2400 \text{ kg/m}^3$) y las dimensiones geométricas de cada poste. Adaptado de Norma ITINTEC 339-027 y NTP 399.100 - Especificaciones para postes de concreto centrifugado.

Observaciones Técnicas:

1. Los postes deben ser fabricados bajo estrictos controles de calidad, garantizando la homogeneidad del concreto y la correcta colocación del refuerzo.

2. El porcentaje es el 40%. Según la normativa técnica para postes de concreto (NTP 339.027), la carga de trabajo se define como el 40% de la carga mínima de rotura.
3. Los diámetros y cargas de rotura varían según el diseño del poste y las cargas esperadas en condiciones de operación.
4. Se recomienda realizar ensayos de carga periódicos para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

2.2.2.2. Postes de Fierro

Los postes de acero, también conocidos como postes metálicos, se caracterizan por su alta resistencia mecánica y ligereza en comparación con los de concreto. Suelen fabricarse en secciones tubulares o celosías, galvanizadas para prevenir la corrosión. Son ideales para zonas de difícil acceso o donde se requiere instalación rápida.

Tabla 2.3

Datos Técnicos Garantizados - Postes De Concreto Centrifugado

Nro	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO (Según Altura del Poste)	
			9m	11m
1	FABRICANTE	-	ACEROS AREQUIPA	ACEROS AREQUIPA
2	TIPO	-	PAS-9	PAS-11
3	NORMAS DE FABRICACIÓN	-	ASTM A572 / NTP 350.100	ASTM A572 / NTP 350.100
4	LONGITUD DEL POSTE	m	9	11
5	SECCIÓN TRANSVERSAL	mm	Ø168.3 (punta)	Ø219.1 (base)
6	ESPESOR DE PARED	mm	4.5	6
7	MOMENTO NOMINAL DE FLUENCIA	kN·m	28.3	52.1
8	MASA POR UNIDAD	kg	180	250

Fuente. Adaptado de Norma ASTM A572 y NTP 350.100 - Especificaciones para postes de acero estructural.

Tabla 2.4*Datos Técnicos Garantizados - Postes De Concreto Centrifugado*

Nro	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO (Según Altura del Poste)	
			9m	11m
9	GRADO DEL ACERO	-	A36	A36
10	GALVANIZACIÓN	μm	85	85
11	MÉTODO DE PROTECCIÓN	-	Inmersión en caliente	Inmersión en caliente
12	CARGA CRÍTICA DE PANDEO	kN	185	320
13	MÓDULO DE SECCIÓN	cm ³	125	240
14	VIDA ÚTIL ESTIMADA	años	25-35	25-35

Fuente. Adaptado de Norma ASTM A572 y NTP 350.100 - Especificaciones para postes de acero estructural.

Observaciones Técnicas:

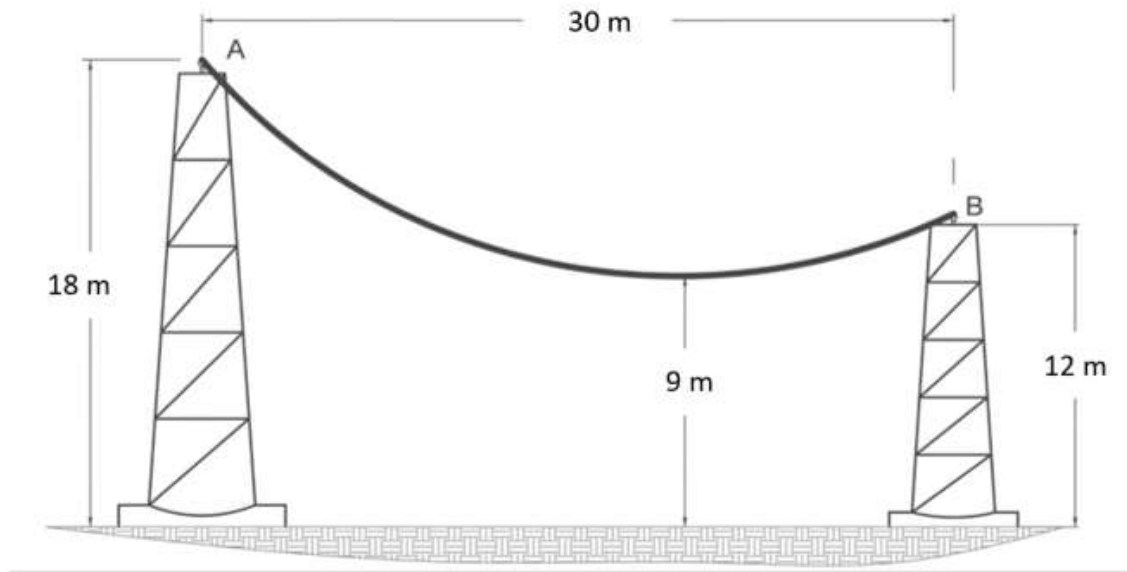
1. Los postes de acero deben ser galvanizados por inmersión en caliente para garantizar una protección contra la corrosión de al menos 85 μm.
2. El coeficiente de seguridad de asegura que la carga de trabajo no exceda 40% de la carga de fluencia, conforme a las normas ASTM A572 y NTP 350.100.
3. Los postes deben ser fabricados bajo estrictos controles de calidad, garantizando la soldadura de alta resistencia y la correcta aplicación de la galvanización.
4. Se recomienda realizar inspecciones periódicas para verificar el estado de la galvanización y la integridad estructural.

2.2.3. Catenaria del Conductor

“En Ingeniería Eléctrica es importante conocer el comportamiento del conductor, debido a que este está sujeto o suspendido entre dos apoyos llamados también estructuras, estos soportes pueden estar situados al mismo o diferente nivel de acuerdo a la topología del terreno o la altura de cada soporte. El conductor suspendido entre estos dos apoyos forma una curva que se asemeja a una parábola, a esta curva se le llama catenaria” (Bautista Ríos, 2011).

Figura 2.5

Catenaria para una altura con desnivel



Fuente. (Bautista Ríos, 2011).

2.2.4. Peso unitario del Conductor W_c

“Un conductor libremente suspendido está sometido a diferentes efectos de sobrecarga, uno de estas sobrecargas es un parámetro debido a la acción de la fuerza de gravedad propio de este, y se define como su peso por unidad de longitud llamado también peso unitario del conductor. Este valor depende específicamente del material por el cual está compuesto” (Bautista Ríos, 2011).

2.2.5. Vano Entre Estructuras

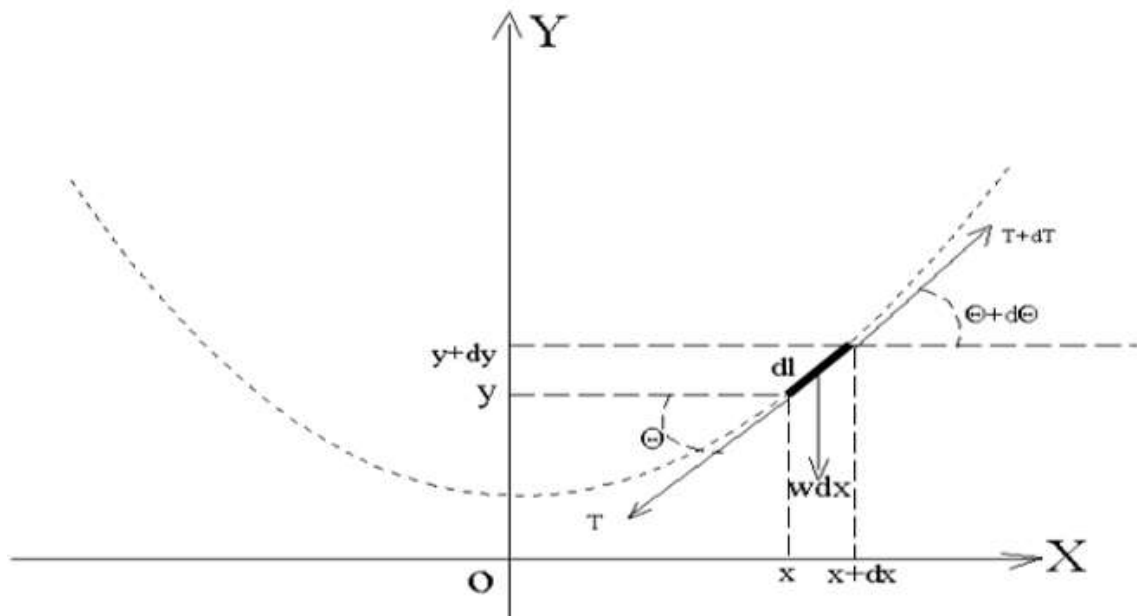
“Se define como vano a la distancia horizontal entre dos estructuras consecutivas que soportan en sus extremos la carga del conductor. Para el presente trabajo se le designará con la letra a ” (Bautista Ríos, 2011).

2.2.6. Ecuación De La Catenaria Entre Dos Puntos

Un cable o conductor suspendido entre dos apoyos tiene la forma de una curva llamada catenaria tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2.6

Catenaria para una altura con desnivel



Fuente. (Bautista Ríos, 2011).

$$Dy = \frac{T_o}{W_c} \cdot \cosh\left(\frac{x \cdot W_c}{T_o}\right) \quad (2-1)$$

2.2.7. Parámetro de la Catenaria

$$y = C \cdot \cosh\left(\frac{x}{C}\right) \quad (2-2)$$

Siendo C el parámetro de la catenaria que es una constante con dimensiones en metros, que regula la apertura de dicha curva.

2.2.8. Tiro Del Conductor

“Tiro del conductor o tensión en el conductor se define como la fuerza en cada punto de la catenaria para que esta esté en equilibrio y está expresado en kg. En cualquier punto de la catenaria está sometido a un tiro o llamado también tensión cuyas unidades están en kg” (Nava Bustillo, 2017).

2.2.9. Tiro Máximo y Tiro de Rotura del Conductor

“En los sistemas eléctricos de distribución, el tiro de rotura de un conductor se define como la máxima tensión mecánica que puede soportar el conductor antes de producirse su ruptura física. Este valor es proporcionado por el fabricante y determinado mediante ensayos mecánicos normalizados. De acuerdo con los criterios establecidos en el Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE–Suministro), el diseño mecánico de líneas y redes eléctricas debe asegurar que los esfuerzos aplicados al conductor se mantengan dentro de límites permisibles de seguridad para evitar deformaciones permanentes o fallas estructurales.

Por otro lado, el tiro máximo admisible corresponde a la tensión mecánica máxima de trabajo aplicada al conductor durante las condiciones más severas de operación, tales como variaciones de temperatura, cargas por viento o esfuerzos mecánicos. Este valor no debe exceder una fracción del tiro de rotura del conductor, establecida mediante un coeficiente o factor de seguridad, el cual depende de las características del proyecto, del tipo de conductor y de las condiciones ambientales de instalación. En el diseño de redes eléctricas de distribución en el Perú, se emplean criterios de seguridad definidos por el Código Nacional de Electricidad – Suministro y normas técnicas complementarias emitidas por la Dirección General de Electricidad (DGE–MINEM).

2.2.10. Esfuerzo del Conductor

“El esfuerzo mecánico del conductor se define básicamente como la división del Tiro entre la sección transversal del conductor “A” dado en mm², es usado frecuentemente en reemplazo del tiro debido a que sus valores son más pequeños” (Nava Bustillo, 2017).

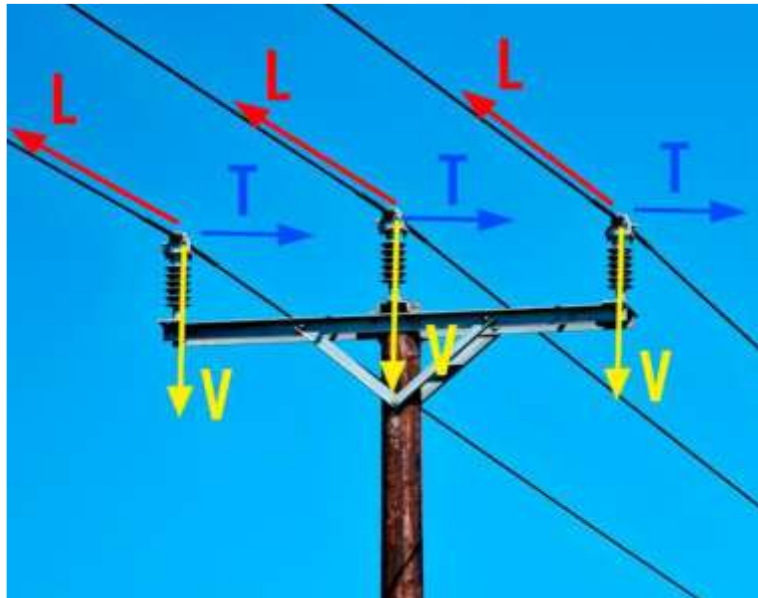
$$\sigma = \frac{T}{A} \quad (1-3)$$

2.2.11. Cargas Mecánicas Sobre Las Estructuras

“Los esfuerzos mecánicos se calculan para distintas condiciones ambientales (Hipótesis) definidas para el proyecto. El análisis de estas condiciones tiene como fin garantizar que las estructuras trabajen adecuadamente dentro de sus márgenes de seguridad, para todas las condiciones planteadas, vale decir que las cargas externas sobre las estructuras no superen las máximas cargas de trabajo garantizados por el material usado en la fabricación de la estructura” (Huaman Ramos, 2019).

Figura 2.7

Esfuerzos producidos en los soportes



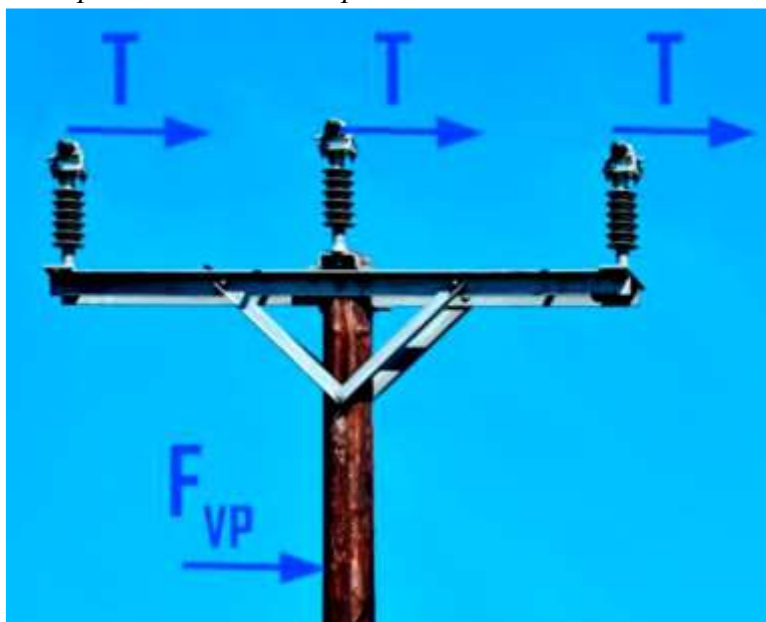
Fuente. Cálculo Mecánico de Estructuras – ABS Ingenieros.

2.2.12. Cargas transversales

Las cargas transversales son producidas principalmente por la presión del viento y el tiro del conductor.

Figura 2.8

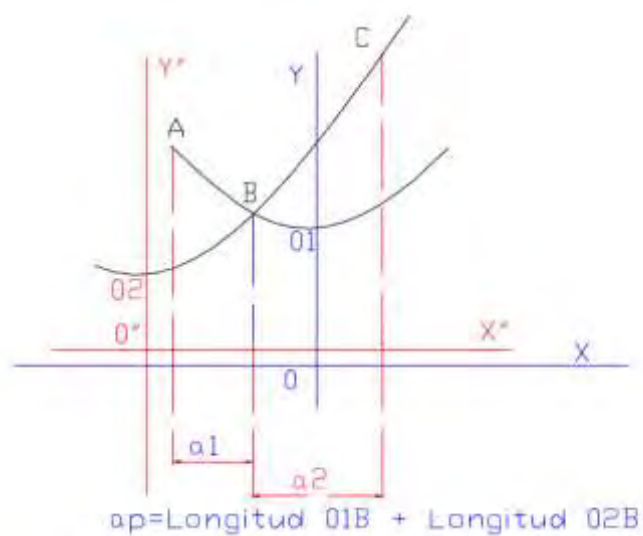
Cargas Transversales producidas en los soportes



Fuente. Cálculo Mecánico de Estructuras – ABS Ingenieros.

Figura 2.9

Vano peso para una estructura en la posición B



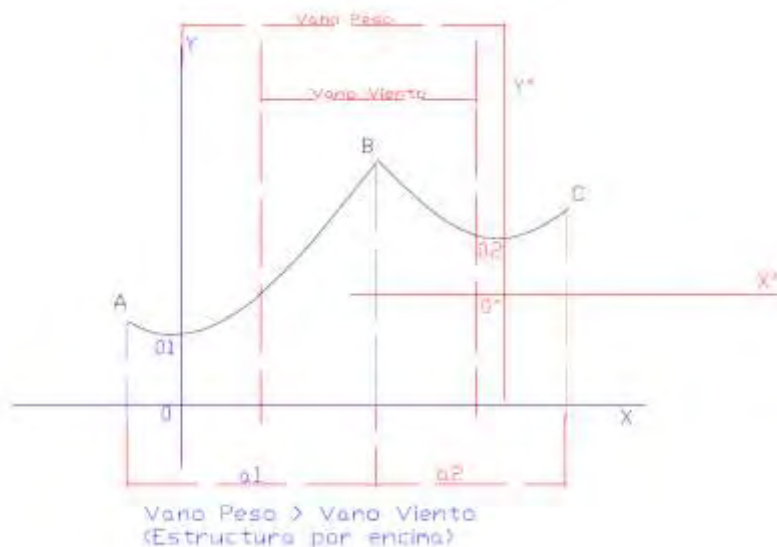
Fuente. Aspectos Mecánicos y Conductores – Juan Bautista Ríos.

2.2.13. Vano Viento O Eolovano

“Es la longitud del conductor o cable de guarda que es preciso considerar a fin de evaluar la fuerza que ejerce la presión del viento y cuyo punto de aplicación se sitúa en el punto de suspensión del conductor en la cadena de aisladores de la estructura” (Bautista Ríos, 2011).

Figura 2.10

Disposición de una estructura cuando el vano peso es mayor que el vano viento



Fuente. Aspectos Mecánicos y Conductores – Juan Bautista Ríos.

Figura 2.11

Disposición de una estructura cuando el vano peso es menor que el vano viento



Fuente. Aspectos Mecánicos y Conductores – Juan Bautista Ríos.

2.2.14. Distancia Geométrica De La Red

“La distancia geométrica se refiere a la longitud en línea recta medida entre dos puntos en el espacio, sin tener en cuenta las particularidades del terreno o las rutas físicas disponibles. En el contexto de una red de distribución eléctrica, la distancia geométrica de la red existente a la localidad es la distancia directa que separa la infraestructura de la red eléctrica más cercana

hasta el punto central de la localidad que se desea abastecer. Este valor es crucial para estimar la factibilidad técnica y económica de extender la red eléctrica a nuevas áreas” (Ortega y González, 2019).

2.2.15. Comportamiento Estructural de Postes Sometidos a Cargas Combinadas

El comportamiento estructural de un poste de distribución eléctrica se rige por los principios de la mecánica de materiales y la teoría de elementos estructurales esbeltos sometidos a flexión compuesta. Cuando un poste soporta simultáneamente cargas verticales peso propio, peso de conductores y accesorios y cargas horizontales tiro de conductores y presión de viento, se generan estados de tensión combinados que incluyen compresión axial, flexión biaxial y cortante transversal (Timoshenko y Gere, 2012).

La distribución de tensiones a lo largo del fuste del poste no es uniforme: los esfuerzos máximos se concentran en la sección empotrada en la base, donde el momento flector alcanza su valor más alto. En postes de sección troncocónica como los de concreto armado centrifugado (C.A.C.) utilizados en redes de distribución peruanas, la reducción progresiva del diámetro hacia la punta incrementa la exigencia estructural en los tramos superiores cuando se aplican cargas concentradas, como el tiro de conductores en postes de cambio de ángulo o de anclaje (Sallam y Malik, 2011).

La incorporación de cargas adicionales provenientes de cables de telecomunicaciones como la fibra óptica modifica el equilibrio de fuerzas original para el cual fue diseñado el poste, generando incrementos en el momento flector, la fuerza cortante y los desplazamientos laterales. Estudios realizados en infraestructuras similares en Latinoamérica han reportado que la adición de cables de fibra óptica sin rediseño estructural previo puede incrementar los esfuerzos horizontales entre un 10 % y un 25 %, dependiendo de la longitud del vano, el número de cables instalados y las condiciones climáticas de la zona (Huaman Ramos, 2019; Alvarado Silva, 2021).

2.2.16. Uso Compartido de Infraestructura Eléctrica y de Telecomunicaciones

El uso compartido de postes eléctricos como soporte para redes de telecomunicaciones es una práctica extendida tanto en el Perú como en otros países de la región, impulsada por criterios de eficiencia económica y reducción del impacto visual en el espacio urbano. Sin embargo, esta práctica presenta desafíos técnicos significativos cuando no se realiza bajo un análisis estructural previo que verifique la capacidad del poste para soportar las cargas adicionales (Yujra Tarqui, 2023).

Desde el punto de vista normativo, la Ley N.º 28295 y su reglamento (D.S. N.º 009-2005-MTC) establecen en el Perú el marco legal para el acceso y uso compartido de infraestructura de servicios públicos, incluyendo postes de distribución eléctrica. Dicha norma faculta a los operadores de telecomunicaciones a solicitar el uso de la infraestructura eléctrica existente, pero condiciona dicho uso al cumplimiento de requisitos técnicos que garanticen la no afectación del servicio principal. En la práctica, sin embargo, la falta de protocolos técnicos específicos y de mecanismos de fiscalización ha permitido que numerosas instalaciones de fibra óptica se realicen sin verificación estructural previa, generando la problemática que documenta la presente investigación.

A nivel internacional, organismos como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T, recomendación L.110) y la norma IEC 60794-4-1 establecen criterios de compatibilidad entre cables de fibra óptica aérea e infraestructura eléctrica, incluyendo límites de peso, tensión de instalación y separación mínima respecto a conductores energizados. Estos estándares, aunque no son de aplicación obligatoria directa en el contexto peruano, constituyen referencias técnicas reconocidas internacionalmente que complementan la normativa nacional vigente.

2.2.17. Métodos de Reforzamiento Estructural de Postes

Ante el deterioro o la insuficiencia estructural de postes en servicio, la ingeniería eléctrica y civil contempla diversas estrategias de intervención que permiten restaurar o incrementar la capacidad portante sin necesidad de reemplazar completamente la estructura. Entre los métodos más utilizados en redes de distribución se identifican los siguientes:

a) Sustitución por elementos de mayor capacidad:

Consiste en reemplazar el poste existente por una unidad de mayor carga de rotura, mayor diámetro de sección y mayor rigidez a la flexión. En el contexto peruano, la sustitución por postes C.A.C. de 300 a 400 daN de carga de trabajo, fabricados según la norma DGE 015-PD-1, representa la solución más robusta y de mayor durabilidad (Alvarado Silva, 2021).

b) Refuerzo mediante tensores o retenidas:

La instalación de retenidas cables de acero anclados al terreno en sentido contrario a la carga dominante permite redistribuir las fuerzas horizontales y reducir el momento flector en la base del poste. Esta solución es económica y de rápida instalación, pero requiere espacio disponible para el anclaje y un mantenimiento periódico para garantizar la tensión adecuada del tensor (Nava Bustillo, 2017).

c) Encamisado estructural:

El encamisado consiste en envolver el fuste del poste, especialmente en su zona inferior, con una capa adicional de concreto armado o con elementos metálicos soldados. Esta técnica incrementa el momento de inercia de la sección transversal, reduciendo las deformaciones y mejorando la resistencia a la flexión sin necesidad de desconectar ni retirar el poste. Es especialmente útil en postes con fisuras superficiales o con degradación del recubrimiento de concreto (Jokinen y Kekkonen, 2018).

La selección entre estas alternativas depende del factor de seguridad inicial del poste, del grado de deterioro observado, de las cargas actuantes y de los recursos disponibles para la

intervención. En términos generales, la sustitución es preferible cuando $F.S. < 1.0$; el encamisado resulta adecuado para $1.0 \leq F.S. < 1.5$; y los tensores constituyen una solución complementaria eficiente cuando $F.S. \geq 1.5$ pero persisten sobrecargas por vanos extensos o múltiples cables de telecomunicaciones.

2.3. Bases Normativas

“Con relación a las redes de distribución secundaria en zonas rurales, **MINEM DGE** 031 (2003) establece los cálculos eléctricos y mecánicos para diseño de redes secundarias en nivel de tensión 380-220V y 440-220V, con conductores portantes Aleación de Aluminio” (DGE, 2010).

Código Nacional de Electricidad (CNE) - Suministro 2011

El CNE regula los sistemas de electrificación convencionales para zonas rurales y urbanas. A continuación, algunos valores clave:

Postes:

Material: Se usan postes de concreto, acero o madera tratados, de acuerdo con las condiciones climáticas y del terreno.

- **Altura mínima:** Para líneas de baja tensión (BT), la altura mínima de los postes es de 8 metros, mientras que para media tensión (MT) puede variar entre 10 y 12 metros, según la normativa y los cálculos estructurales.
- **Resistencia:** Los postes deben tener una resistencia mínima de 200 kgf/m en su base para redes de baja tensión y hasta 300 kgf/m para redes de media tensión en zonas rurales.

Conductores:

- **Material:** Los conductores más utilizados son de aluminio o aluminio con alma de acero (AAAC), ya que son más ligeros y resistentes a la corrosión, lo que los hace ideales para zonas rurales.

- Sección transversal:

Para baja tensión (BT): Se utilizan conductores de 35 mm² a 50 mm² en áreas residenciales rurales.

- Para media tensión (MT): Los conductores suelen tener secciones de 35 mm² a 95 mm² para líneas aéreas.

Normativa Técnica N° 238-2007-EM/DGE (Transformadores de Distribución)

- Capacidad del transformador:

En electrificación rural, se suelen utilizar transformadores de 10 kVA, 15 kVA, 25 kVA, y en algunos casos, 50 kVA. Estos valores varían según la demanda de energía de las localidades rurales y el tamaño de la población.

- Instalación:

Los transformadores deben instalarse en postes con una resistencia adecuada, ubicados a una altura que garantice la seguridad, con una distancia mínima al suelo de 4.5 metros en media tensión.

Ley de Electrificación Rural (Ley N° 28749)

Promover y regular la electrificación rural, especialmente en zonas de difícil acceso, incentivando el uso de energías renovables, como la generación fotovoltaica. Esta ley impulsa proyectos que prioricen fuentes renovables para garantizar el acceso sostenible a la energía eléctrica en zonas rurales. Los proyectos de electrificación rural deben ser diseñados para satisfacer las necesidades de las comunidades a través de tecnologías limpias como los sistemas fotovoltaicos centralizados.

Código Nacional de Electricidad – Suministro

Postes y Conductores: Regula el uso de postes y conductores en redes de distribución eléctrica en zonas rurales. En particular, para áreas de difícil acceso, se requieren postes de 8/200 o 10/300 y conductores de 35 mm² a 50 mm² para asegurar la estabilidad de la red en

sistemas de electrificación rural. Transformadores: La normativa establece los requisitos para la instalación de transformadores adecuados en zonas rurales, asegurando que los sistemas fotovoltaicos centralizados puedan distribuir la energía de manera confiable.

Norma Técnica DGE 015-PD-1 Postes de Concreto Armado Centrifugado para Redes de Distribución

La Norma Técnica DGE 015-PD-1, emitida por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas del Perú (DGE-MINEM), establece las especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir los postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.) destinados a redes de distribución eléctrica. Esta norma regula aspectos fundamentales para la presente investigación, entre los que se destacan: las dimensiones geométricas (diámetro en la punta y en la base, longitud total y longitud de empotramiento), las propiedades mecánicas garantizadas (carga de rotura, momento flector admisible, factor de seguridad mínimo), los materiales y procesos de fabricación, así como los ensayos de aceptación y control de calidad que deben efectuarse antes de la instalación de cada unidad.

En el contexto de la presente investigación, la DGE 015-PD-1 constituye el referente normativo principal para verificar si los postes existentes en el alimentador UR 01 cumplen con las especificaciones de capacidad estructural frente a las cargas combinadas generadas por los conductores eléctricos y los cables de fibra óptica. Asimismo, sus parámetros de carga de rotura y factor de seguridad mínimo ($F.S. \geq 2.0$) fueron adoptados como criterios de evaluación en el modelado computacional con SAP2000, permitiendo determinar cuáles postes requieren sustitución, refuerzo o redistribución de cargas. La propuesta de sustitución por postes C.A.C. de mayor capacidad, desarrollada en el Capítulo V, fue dimensionada en estricta correspondencia con las especificaciones de esta norma, garantizando así que las soluciones planteadas sean técnicamente viables y normativamente sustentadas dentro del marco regulatorio peruano vigente.

Ley N.º 28295 — Ley que Regula el Acceso y Uso Compartido de Infraestructura de Uso Público para la Prestación de Servicios Públicos de Telecomunicaciones

La Ley N.º 28295, promulgada en el año 2004 y reglamentada mediante el Decreto Supremo N.º 009-2005-MTC, regula el derecho de acceso y uso compartido de la infraestructura de servicios públicos incluidos postes, torres, ductos, canalizaciones y derechos de paso por parte de los operadores de telecomunicaciones, con el objetivo de promover la expansión de la conectividad, reducir costos de despliegue y evitar la proliferación innecesaria de estructuras en el espacio público.

Esta norma es directamente aplicable a la problemática central de la presente investigación, dado que la instalación de redes de fibra óptica sobre los postes eléctricos del alimentador UR 01 en Urubamba constituye precisamente un caso de uso compartido de infraestructura entre una empresa distribuidora de electricidad y operadores de telecomunicaciones. La ley establece que dicho uso compartido debe realizarse en condiciones técnicas que no comprometan la seguridad, la continuidad ni la calidad del servicio principal de la infraestructura cedida en este caso, el servicio eléctrico, condición que, según los resultados del diagnóstico y del análisis computacional de la presente investigación, no se está cumpliendo en varios postes del alimentador evaluado.

En consecuencia, la Ley N.º 28295 refuerza la justificación técnica y legal de la propuesta de reconfiguración estructural desarrollada en el Capítulo V, al establecer que las empresas propietarias de infraestructura tienen la facultad de exigir a los operadores de telecomunicaciones el cumplimiento de requisitos técnicos y estructurales previos a la instalación de sus cables. Asimismo, su incorporación al marco normativo de esta investigación contribuye a fundamentar la recomendación de implementar protocolos normativos que regulen el uso compartido de postes, en concordancia con la legislación vigente del Estado peruano.

Norma Técnica Peruana NTP 399.100 - Postes de Concreto Armado Centrifugado para Redes de Distribución de Energía Eléctrica

Esta norma, aprobada por INDECOPI y vigente en el Perú, establece los requisitos de fabricación, dimensiones, propiedades mecánicas (carga de rotura, momento flector, factor de seguridad) y métodos de ensayo para postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.) destinados a redes de distribución eléctrica.

Norma Técnica Peruana NTP 350.100 - Postes de Acero para Redes de Distribución de Energía Eléctrica

Esta norma establece las especificaciones técnicas para postes de acero estructural galvanizado utilizados en redes de distribución eléctrica, incluyendo dimensiones (diámetros en punta y base), espesores de pared, momento nominal de fluencia, carga crítica de pandeo y requisitos de galvanización por inmersión en caliente.

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) - Norma Técnica E.020 "Cargas"

La Norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones establece los criterios para la determinación de cargas mínimas de diseño en estructuras, incluyendo la carga de viento, carga viva y carga muerta. En particular, para el análisis de estructuras de postes expuestos a acciones ambientales, esta norma define la presión de viento de diseño en función de la velocidad básica de viento, el factor de exposición y el factor de forma según la geometría del elemento.

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS POSTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. *Descripción del área de estudio*

3.1.1. Ubicación geográfica: sectores urbanos y rurales del distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, Cusco.

El área de estudio abarca diversos sectores urbanos y rurales del distrito de Urubamba, ubicado en la provincia de Urubamba, región Cusco, en la zona sur andina del Perú. Este distrito es reconocido por su importancia cultural, histórica y turística, pero también por su creciente desarrollo urbano y expansión de servicios públicos.

Ambas zonas (urbana y rural) comparten la necesidad de mejorar la conectividad digital mediante la instalación de redes de fibra óptica. Sin embargo, las condiciones geográficas, climáticas y técnicas varían significativamente entre sectores, por lo que es fundamental realizar un estudio diferenciado que evalúe la capacidad de los postes de media tensión (MT) y baja tensión (BT) para soportar las cargas adicionales en cada contexto.

3.1.2. Características del alimentador UR 01

Los sectores evaluados en esta investigación pertenecen al alimentador UR 01, uno de los principales circuitos de distribución operados por la empresa concesionaria. Este alimentador suministra energía eléctrica a una amplia zona del distrito de Urubamba, incluyendo centros poblados, barrios residenciales y comunidades rurales.

El alimentador UR 01 presenta una combinación de tramos cortos y largos entre postes de concreto y fierro, con estructuras que en su mayoría fueron instaladas para cargas eléctricas convencionales. Sin embargo, con la reciente incorporación de redes de fibra óptica, ha surgido la necesidad de evaluar si los postes existentes tienen la capacidad estructural adecuada para

soportar este tipo de cargas adicionales sin comprometer la seguridad y continuidad del servicio eléctrico.

La elección de este alimentador como unidad de análisis permite obtener un panorama representativo de las condiciones reales del sistema eléctrico en Urubamba, y establecer criterios técnicos replicables para futuras intervenciones de reconfiguración estructural en otros alimentadores de la red de distribución.

3.1.3. Condiciones ambientales

El análisis de las condiciones ambientales del área de estudio es un aspecto fundamental en el diseño y evaluación del comportamiento mecánico de estructuras eléctricas, como los postes de media tensión (MT) y baja tensión (BT), especialmente cuando estas estructuras están sujetas a cargas adicionales como las que impone la instalación de redes de fibra óptica.

El distrito de Urubamba, ubicado en la región andina del Cusco, presenta una topografía variada, con presencia de valles profundos y zonas montañosas que alcanzan altitudes superiores a los 3000 m.s.n.m. Estas condiciones influyen directamente en la intensidad de cargas externas aplicadas sobre las estructuras, y deben ser consideradas en el cálculo estructural y mecánico de los elementos de soporte.

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE–S), el diseño mecánico y eléctrico de redes de distribución debe considerar las condiciones ambientales y climáticas propias de la zona de emplazamiento, ya que estas influyen directamente en el comportamiento estructural de los conductores, apoyos y equipos eléctricos. Para el caso del distrito de Urubamba, los principales factores ambientales relevantes son los siguientes:

- Altitud:

El distrito de Urubamba se encuentra aproximadamente entre los 2 850 y 3 100 m.s.n.m., condición que influye en la reducción de la densidad del aire y en la rigidez dieléctrica del medio. De acuerdo con el CNE–S, la altitud constituye un factor relevante para la selección

de niveles de aislamiento, distancias eléctricas mínimas y desempeño de equipos eléctricos instalados en redes de distribución.

- Viento:

El Código Nacional de Electricidad – Suministro establece que las cargas mecánicas originadas por el viento deben ser consideradas en el diseño de líneas y redes eléctricas. En zonas de valle interandino y áreas elevadas como Urubamba, la acción del viento genera esfuerzos transversales sobre postes, retenidas, conductores y accesorios.

- Temperatura ambiente:

Las variaciones de temperatura propias de la zona influyen en la dilatación y contracción térmica de conductores y elementos estructurales. El CNE–S considera la temperatura como un parámetro fundamental para el cálculo de flechas y tensiones mecánicas en conductores.

Tabla 3.1

Condiciones ambientales relevantes para el diseño estructural en Urubamba

Parámetro Ambiental	Valor o Rango Referencial	Impacto en el Cálculo Mecánico de postes y conductores
Altitud	2880 – 3100 m.s.n.m.	Reduce densidad del aire; afecta disipación térmica y aislamiento dieléctrico.
Velocidad del viento	25 – 40 km/h (estimado)	Carga lateral sobre postes, cables y accesorios. Aumenta momentos flectores.
Temperatura ambiente	5 °C – 23 °C	Provoca dilataciones/contracciones térmicas en materiales.
Humedad relativa	60% – 90%	Riesgo de corrosión, degradación de componentes y aislantes.
Precipitación anual	800 – 1200 mm (principalmente de noviembre a marzo)	Genera humedad persistente, posibles deterioros en bases y anclajes.
Cargas por nieve/granizo	Ocasional (en zonas elevadas)	Carga vertical adicional sobre estructuras y conductores.
Actividad sísmica	Zona de amenaza sísmica moderada-alta	Exige diseño resistente a cargas dinámicas e inerciales.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

3.2. Características del subsistema de distribución URUBAMBA

El subsistema de distribución Urubamba forma parte del sistema eléctrico de la región Cusco y está conformado por redes de media tensión (MT) y baja tensión (BT), además de una serie de instalaciones diseñadas para garantizar el suministro eficiente y continuo de energía eléctrica a usuarios residenciales, comerciales e institucionales en el distrito de Urubamba. Su operación se centra en la Subestación Eléctrica Urubamba (SET Urubamba), infraestructura clave dentro de la red de distribución.

Este subsistema se encuentra respaldado por un Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) aprobado, a través del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) validado mediante Resolución Directoral N.º 198-2011-MEM/AAE. Dicho estudio incluyó dos componentes fundamentales del proyecto original:

- La implementación de la nueva Subestación Urubamba, que transforma la energía desde niveles de transmisión (60 kV) a niveles de distribución (22.9 kV y 10 kV), permitiendo así la entrega de energía adaptada a las necesidades locales.
- La derivación de la Línea de Transmisión (LT) Cachimayo – Pisac, mediante un ramal aéreo de aproximadamente 17.65 km de longitud, que conecta directamente la SET Urubamba con la red regional de transmisión.

Adicionalmente, como parte de las acciones recientes de modernización y adaptación a grandes proyectos de infraestructura regional, se ha llevado a cabo la reubicación parcial de la Línea de Transmisión 6006-3 Derivación Urubamba, debido a la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de Chinchero. En este contexto, se modificó el tramo comprendido entre las estructuras T-25 y T-42, reemplazando el tendido aéreo existente por cableado subterráneo de 60 kV, con el objetivo de liberar espacio aéreo y asegurar la compatibilidad con el nuevo desarrollo aeroportuario. En cuanto a la mejora de la calidad del servicio, la SET Urubamba ha sido equipada con un nuevo transformador de potencia de 15 MVA, el cual

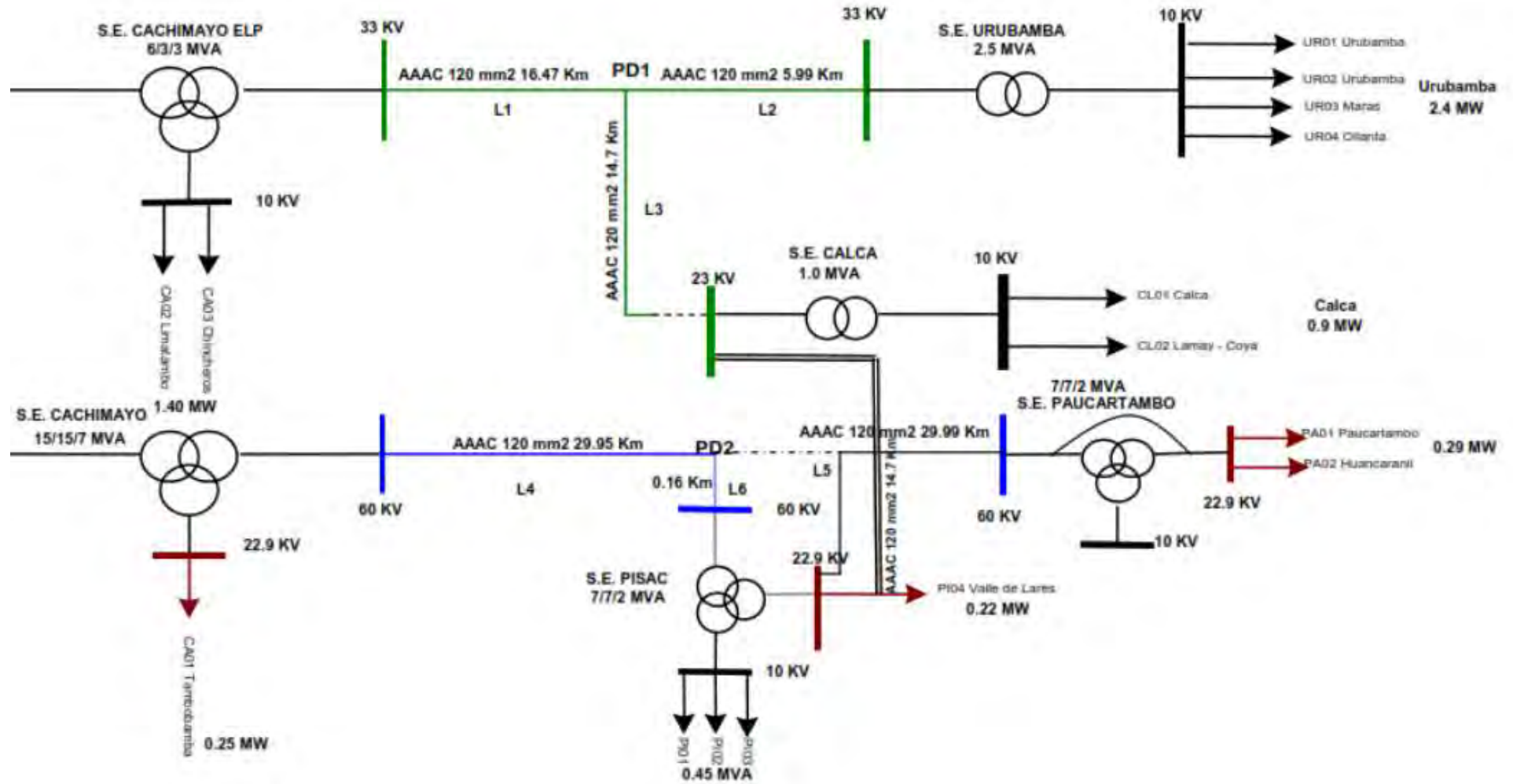
cuenta con tres devanados. Esta configuración le permite operar eficientemente en tres niveles de tensión: 60 kV, 22.9 kV y 10 kV, facilitando la distribución flexible y segura de energía eléctrica a distintas zonas y tipos de carga.

El alimentador UR 01, que nace desde esta subestación, suministra energía a múltiples sectores urbanos y rurales del distrito, atravesando áreas con distinta topografía y densidad de población. El sistema de distribución secundaria opera típicamente en tensiones de 220/380 V, mientras que la red primaria lo hace en 10 a 22.9 kV.

Estas condiciones técnicas, junto con la reciente expansión de redes de fibra óptica que utilizan la infraestructura eléctrica como soporte, resaltan la necesidad de evaluar la capacidad estructural de los postes frente a nuevas cargas mecánicas.

Figura 3.1

Diagrama unifilar SET URUBAMBA



Fuente. Eletro Sur Este S.A.A, 2021.

3.3. Componentes Principales del subsistema de distribución Urubamba

3.3.1. Línea de transmisión derivación - Urubamba

La Línea de Transmisión Derivación Urubamba, identificada con el código L-6006-3 y operando a 60 kV. Se trata de una línea simple terna construida con conductores tipo AAAC (Aluminum Alloy Conductor), diseñada para garantizar un suministro eléctrico eficiente y confiable en condiciones geográficas exigentes.

Para la protección contra sobretensiones atmosféricas, la línea cuenta con un cable de guarda del tipo EHS (Extra High Strength), instalado a lo largo de su trayectoria. Las estructuras que soportan la línea son de tipo celosía, seleccionadas por su resistencia mecánica y adaptabilidad a terrenos irregulares.

El trazado de la línea se extiende a través de zonas montañosas y valles del entorno andino, partiendo desde una altitud aproximada de 3020 metros sobre el nivel del mar, en las inmediaciones de la Subestación Urubamba (SET Urubamba), lo que añade desafíos técnicos relacionados con la topografía y las condiciones climáticas de alta montaña.

Tabla 3.2

Características de la Línea de Derivación Urubamba

Característica	Valor
Identificación	
Código de Línea	L-6006-3
Acceso	Cusco – Urubamba
Configuración física	
Longitud (km)	17.245
Especificaciones técnicas	
Nivel de Tensión (kV)	60
Tipo de conductor	ACCC
Sección mm ²	120
Tipo de cable guarda	EHS
Tipo de cable guarda mm ²	38

Fuente. Datos proporcionados por la empresa concesionaria, 2022.

Figura 3.2

LT 6006-3 Derivación Urubamba



Fuente. Eletro Sur Este S.A.A, 2021.

3.3.2. SET Urubamba

La Subestación Urubamba cuenta con un transformador de potencia trifásico que opera con tensiones de 60/22.9/10 kV. Su diseño le permite funcionar bajo dos modos de refrigeración, lo que garantiza flexibilidad para atender la demanda energética creciente de la ciudad y sus alrededores.

En el modo ONAN (refrigeración por aceite natural y aire natural), el transformador tiene una capacidad nominal que varía entre 15 y 19 MVA, ideal para condiciones de carga base o demandas moderadas donde la refrigeración pasiva es suficiente.

Por otro lado, en el modo ONAF (refrigeración por aceite natural y aire forzado), la capacidad de salida se ajusta para optimizar el rendimiento: el devanado primario mantiene una capacidad entre 15 y 19 MVA, mientras que el devanado secundario opera en un rango de 7 a 9 MVA, permitiendo manejar picos de demanda o condiciones de carga más exigentes con la ayuda de ventilación forzada.

El equipamiento de la subestación incluye una gama completa de dispositivos eléctricos esenciales para garantizar una operación segura y controlada del sistema. Entre estos se

encuentran: seccionadores de línea y de barra, interruptores de potencia, transformadores de corriente, pararrayos, aisladores de soporte, y el transformador de potencia previamente descrito. Este conjunto de componentes permite realizar maniobras operativas, proteger el sistema ante fallas y asegurar la estabilidad de la red en condiciones normales y de contingencia.

Figura 3.3

Transformador de potencia - SET Urubamba



Fuente. Leyca Consulting S.A.C, 2022.

El transformador de potencia instalado posee una capacidad nominal de 15-19/15-19/7-9 MVA, y ha sido diseñado inicialmente para operar bajo un sistema de refrigeración por aire natural (ONAN). No obstante, el equipo se encuentra preparado para una futura adaptación al sistema de refrigeración asistida (ONAF), lo que permitirá incrementar su capacidad de enfriamiento y, por consiguiente, elevar su potencia de operación en al menos un 20% cuando las condiciones de carga así lo requieran.

A continuación, se detallan las principales características técnicas del transformador.

Tabla 3.3

Características del transformador

Característica tecnológica	Transformador
Potencia	15MVA
Tensiones AT/MT/BT	60/22.9/0.22KV
Tipo	TOCH
Conmutador Automático Bajo Carga	SI
Nro de Serie	146459
Año de Fabricación	2013
Tipo Aceite	NYNAS NYTRO
	LIBRA
Peso de Aceite (KG)	9800
Grupo	YNyn0d5

Fuente. Datos proporcionados por la empresa concesionaria, 2022.

A continuación, se presenta la información técnica detallada del transformador de potencia instalado en la Subestación Eléctrica (SET) Urubamba. Estos datos son fundamentales para comprender las capacidades operativas, características de diseño y especificaciones de mantenimiento del equipo:

Figura 3.4
Placa del transformador de potencia SET Urubamba



Fuente. Datos proporcionados por la empresa concesionaria, 2022.

3.4. Características de los postes existentes

En los sectores urbanos y rurales del distrito de Urubamba, dentro del ámbito del alimentador UR01 de la empresa concesionaria, se ha identificado una infraestructura diversa de soportes eléctricos, tanto para media tensión (MT) como para baja tensión (BT).

A continuación, se detallan sus características generales:

Tabla 3.4*Características de los postes de media tensión*

CODIGONODOMT	TIPO SOPORTE	MATERIAL	ALTURA SOPORTE	FECHA INSTALACION	ARMADO
ESE008NMT001508	MON	Concre	12	25/08/2007	FATPB3
ESE008NMT001141	MON	Concre	12	25/03/2008	ATV7 ARS
ESE008NMT001138	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001140	MON	Concre	12	25/03/2008	AT3 2ARS
ESE008NMT001233	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1 TEL
ESE008NMT001237	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1 TEL
ESE008NMT001259	MON	Concre	12	25/03/2008	ATV7 ARC
ESE008NMT001271	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001526	MON	Concre	12	25/03/2008	ATM1
ESE008NMT001223	MON	Concre	12	25/03/2008	AT3 3ARS
ESE008NMT001160	MON	Concre	12	25/03/2008	ATB1
ESE008NMT001168	MON	Concre	12	25/03/2008	ATM1
ESE008NMT001182	MON	Concre	13	25/03/2008	AT3
ESE008NMT001184	MON	Concre	12	-	ATM1 AT5
ESE008NMT001230	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1 TEL
ESE008NMT001534	MON	Concre	12	25/08/2007	ATM1
ESE008NMT001466	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001467	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001468	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001469	MON	Concre	12	25/08/2007	AT3
ESE008NMT001475	MON	Concre	12	25/03/2008	ATM1
ESE008NMT001569	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1 AB5
ESE008NMT001571	MON	Concre	12	-	AT1
ESE008NMT001584	MON	Concre	12	-	AB1
ESE008NMT005870	MON	Concre	12	-	AB6 AB5
ESE008NMT005882	MON	Concre	12	-	AB6 AB5
ESE008NMT005887	MON	Concre	12	-	AB1 AB5
ESE008NMT006328	MON	Concre	12	25/10/2009	ATB1
ESE008NMT006474	MON	Concre	12	25/08/2007	ATB1
ESE008NMT001286	MON	Concre	12	26/11/2018	ATBV1
ESE008NMT006334	MON	Concre	12	25/10/2009	ATBV1 ARC
ESE008NMT001382	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1 ATB1
ESE008NMT001398	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1 PSEC3
ESE008NMT001399	MON	Concre	12	25/10/2009	ATB1
ESE008NMT001400	MON	Concre	12	25/10/2009	ATB1
ESE008NMT001354	MON	Concre	12	25/10/2009	ATM1
ESE008NMT001358	MON	Concre	12	25/10/2009	ATB1
ESE008NMT001359	MON	Concre	12	25/10/2009	ATX1
ESE008NMT001372	MON	Concre	12	25/10/2009	AT1
ESE008NMT001375	MON	Concre	12	25/10/2009	ATV7 ARC
ESE008NMT001376	MON	Concre	12	-	ATV7 ARS
ESE008NMT001379	MON	Concre	12	-	AT4 ARS

CODIGONODOMT	TIPO SOPORTE	MATERIAL	ALTURA SOPORTE	FECHA INSTALACION	ARMADO
ESE008NMT001186	MON	Concre	12	-	ATM1
ESE008NMT001189	MON	Concre	12	25/10/2009	ATM1
ESE008NMT001190	MON	Concre	12	25/10/2009	ATM1
ESE008NMT001191	MON	Concre	12	25/10/2009	ATM1
ESE008NMT001192	MON	Concre	12	25/10/2009	ATM1
ESE008NMT001516	MON	Concre	12	25/10/2009	ATPB1
ESE008NMT008240	MON	Concre	15	25/10/2009	ATBV1 TEL
ESE008NMT008239	MON	Concre	15	25/10/2009	ATBV1 TEL
ESE008NMT001506	MON	Concre	12	25/10/2009	ATPB1
ESE008NMT006089	MON	Concre	12	25/08/2007	ATX6 ARC
ESE008NMT001579	MON	Concre	12	25/08/2007	ATB1
ESE008NMT001578	MON	Concre	12	25/08/2007	ATB1
ESE008NMT006462	MON	Concre	12	25/08/2007	ATB1
ESE008NMT001575	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1
ESE008NMT001576	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1
ESE008NMT001574	MON	Concre	12	25/08/2007	ATM1
ESE008NMT001573	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1
ESE008NMT001565	MON	Concre	13	25/08/2007	ATM1
ESE008NMT001558	MON	Concre	13	25/08/2007	ATM1
ESE008NMT001557	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1
ESE008NMT001556	MON	Concre	12	25/08/2007	ATB1
ESE008NMT005900	MON	Concre	12	6/02/2019	AB1
ESE008NMT006242	MON	Concre	12	6/02/2019	ATM1
ESE008NMT006239	MON	Concre	12	6/02/2019	ATV6 ARS
ESE008NMT006238	MON	Concre	12	6/02/2019	ATB1
ESE008NMT001553	MON	Concre	12	6/02/2019	AT4 AT6
ESE008NMT005889	MON	Concre	12	6/02/2019	AT1
ESE008NMT005890	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT005891	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001552	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT005875	MON	Concre	12	25/03/2008	AB1
ESE008NMT005876	MON	Fierro	12	25/03/2008	AB1 AB1
ESE008NMT005888	MON	Concre	13	25/03/2008	AB1
ESE008NMT005879	MON	Concre	12	25/03/2008	AB6
ESE008NMT005880	MON	Concre	13	25/03/2008	AB1
ESE008NMT005881	MON	Concre	12	25/03/2008	AB1
ESE008NMT005885	MON	Concre	12	25/03/2008	AB3 AB5
ESE008NMT001527	MON	Concre	12	25/03/2008	ATM1
ESE008NMT001520	MON	Concre	12	25/03/2008	AT6 PSEC3
ESE008NMT001493	MON	Concre	12	25/03/2008	ATBV1 TEL
ESE008NMT001492	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1
ESE008NMT001494	MON	Fierro	12	25/03/2008	ATM1 TEL
ESE008NMT001497	MON	Concre	13	25/03/2008	ATBV1 TEL
ESE008NMT001498	MON	Concre	12	25/03/2008	ATBV1

CODIGONODOMT	TIPO SOPORTE	MATERIAL	ALTURA SOPORTE	FECHA INSTALACION	ARMADO
ESE008NMT001500	MON	Concre	12	25/03/2008	ATBV5 RIS3
ESE008NMT001496	MON	Concre	12	25/03/2008	ATBV1 TEL
ESE008NMT001218	MON	Concre	12	25/03/2008	TEL ATPB5
ESE008NMT001505	MON	Concre	12	25/03/2008	ATPB1
ESE008NMT001504	MON	Concre	12	25/03/2008	ATPB1
ESE008NMT001583	MON	Concre	12	25/03/2008	ATPB1 TEL
ESE008NMT001517	MON	Concre	12	25/03/2008	ATPB1
ESE008NMT001514	MON	Concre	12	25/03/2008	ATPB1
ESE008NMT008391	MON	Concre	13	25/03/2008	ATBV1 TEL
ESE008NMT008392	MON	Concre	13	25/03/2008	ATBV1 TEL
ESE008NMT001488	MON	Concre	12	25/08/2007	AT1 ARS
ESE008NMT006185	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1 TEL
ESE008NMT001487	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1 TEL
ESE008NMT001485	MON	Concre	12	25/03/2008	AT1 TEL

Fuente. Datos extraídos del Sistema de Información Geográfica (GIS) de ELSE, 2025.

Esta tabla muestra los postes instalados en las redes de media tensión del alimentador UR 01. Incluye el código técnico del alimentador, el código del nodo del poste, el tipo de soporte eléctrico, el material del poste (concreto), la altura en metros, la fecha de instalación, y una etiqueta de armado que describe la configuración de sus componentes.

Tabla 3.5

Características de los postes de baja tensión

CODIGONODOMT	MATERIAL	ALTURA SOPORTE	FECHA INSTALACION	CODIGO PROP	ARMADO
ESE008NBT023433	CONCRE	8	12/11/2009	PU	CL
ESE008NBT023436	CONCRE	8	12/11/2009	PU	CL
ESE008NBT006248	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006212	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006242	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006217	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006215	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006225	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006229	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT023434	CONCRE	8	12/11/2009	PU	CL
ESE008NBT023435	CONCRE	8	12/11/2009	PU	AMR
ESE008NBT006221	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006241	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006235	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006245	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006237	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM

CODIGONODOMT	MATERIAL	ALTURA SOPORTE	FECHA INSTALACION	CODIGO PROP	ARMADO
ESE008NBT006206	CONCRE	8	6/08/2003	PU	M
ESE008NBT006211	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006209	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006251	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006220	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006226	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT023437	CONCRE	8	12/11/2009	PU	CL
ESE008NBT006227	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006236	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006234	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006218	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006233	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006252	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006213	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006228	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT020746	CONCRE	8	9/12/2006	PU	GT
ESE008NBT020750	CONCRE	8	9/12/2006	PU	GM
ESE008NBT006003	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT022549	CONCRE	8	12/10/2009	PU	E1
ESE008NBT006312	CONCRE	8	17/05/2007	PU	P
ESE008NBT006340	CONCRE	8	17/05/2007	PU	P
ESE008NBT020756	CONCRE	8	9/12/2006	PU	GM
ESE008NBT020755	CONCRE	8	9/12/2006	PU	GT
ESE008NBT006314	CONCRE	8	17/05/2007	PU	P
ESE008NBT006062	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006066	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT020751	CONCRE	8	9/12/2006	PU	GM
ESE008NBT020738	CONCRE	8	9/12/2006	PU	GM
ESE008NBT006016	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT022551	CONCRE	8	12/10/2009	PU	E3
ESE008NBT022550	CONCRE	8	12/10/2009	PU	E1
ESE008NBT006337	FIENEG	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006310	CONCRE	8	17/05/2007	PU	P
ESE008NBT006313	CONCRE	8	17/05/2007	PU	P
ESE008NBT006328	CONCRE	8	17/05/2007	PU	P
ESE008NBT006061	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006057	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006045	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006043	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006827	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006819	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006776	CONCRE	8		PU	P
ESE008NBT006768	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006772	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P

CODIGONODOMT	MATERIAL	ALTURA SOPORTE	FECHA INSTALACION	CODIGO PROP	ARMADO
ESE008NBT006803	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006762	CONCRE	8	6/08/2003	PU	AC
ESE008NBT006810	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006050	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006056	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006054	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT005810	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005788	CONCRE	8		PU	P
ESE008NBT005804	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005805	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006769	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005799	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005789	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005798	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005797	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005678	CONCRE	8		PU	P
ESE008NBT005653	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005662	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005663	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006053	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT006040	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GT
ESE008NBT023420	FIENEG	8	12/11/2009	PU	P
ESE008NBT006833	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006850	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006763	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006775	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT006767	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005808	CONCRE	8		PU	P
ESE008NBT006052	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006058	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006049	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT006042	CONCRE	8	6/08/2003	PU	GM
ESE008NBT005456	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005812	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT005821	CONCRE	8	30/12/2014	PU	P
ESE008NBT006852	CONCRE	8	6/08/2003	PU	P
ESE008NBT022559	CONCRE	8	12/10/2009	PU	P
ESE008NBT023426	CONCRE	8	12/11/2009	PU	P
ESE008NBT023431	CONCRE	8	12/11/2009	PU	GM
ESE008NBT023432	CONCRE	8	12/11/2009	PU	CL

Fuente. Datos extraídos del Sistema de Información Geográfica (GIS) de ELSE, 2025.

Esta tabla contiene las características de los postes de baja tensión. Presenta el código del nodo del poste, el material del que está hecho (principalmente concreto, con algunas excepciones), la altura en metros, la fecha de instalación, el código de la entidad propietaria del poste y el código del tipo de armado que tiene.

3.4.1. Tipos de postes en el alimentador UR - 01:

3.4.1.1. Postes de Media Tensión

- a) **Postes de concreto (Concreto CAC):** Constituyen la abrumadora mayoría de las estructuras de soporte, representando 89 postes (98.9%) del total inventariado. Estos postes corresponden a concreto armado centrifugado (CAC), tecnología ampliamente utilizada por su durabilidad y resistencia mecánica.
- b) **Postes de fierro:** Se registró 1 poste (1.1%) metálico, constituyendo una proporción mínima del inventario total.
- c) **Postes de madera:** No se identificaron postes de madera en la red de media tensión.

3.4.1.2. Postes de Baja Tensión

- a) **Postes de concreto:** Predominan en el sistema con 86 postes (95.6%), demostrando la preferencia por este material.
- b) **Postes de fierro negro (FIENEG):** Se identificaron 3 postes (3.3%) de fierro negro.
- c) **Postes de madera:** No se identificaron postes de madera en la red de baja tensión.

Tabla 3.6

Distribución de postes por material

Material	Media Tensión		Baja Tensión		Total General	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Concreto	89	98.90%	88	97.80%	177	98.30%
Fierro/FIENEG	1	1.10%	2	2.20%	3	1.70%
TOTAL	90	100%	90	100%	180	100%

Fuente. Elaboración propia basada en los datos extraídos del Sistema de Información Geográfica GIS de ELSE, 2025.

La mayoría de los postes están equipados con diferentes tipos de armados y configuraciones, incluyendo postes para el soporte de transformadores y equipos de protección.

3.4.2. Alturas típicas

El análisis de los postes del alimentador UR 01 revela una distribución de alturas relativamente uniforme:

3.4.2.1. Postes de Media Tensión

- a) **12 metros:** Altura predominante, presente en más del 95% de los postes de media tensión inventariados.
- b) **13 metros:** Utilizados en ubicaciones específicas que requieren mayor altura libre, representando aproximadamente el 3% del total.
- c) **15 metros:** Empleados en casos particulares donde las condiciones del terreno o requerimientos técnicos lo justifican, constituyendo menos del 2% del alimentador.

3.4.2.2. Postes de Baja Tensión

Altura estándar es de 8 metros para el total de los postes de baja tensión, cumpliendo con las especificaciones técnicas para este nivel de tensión.

Esta uniformidad en las alturas facilita la estandarización de procedimientos de mantenimiento y la gestión del inventario de repuestos.

Tabla 3.7

Distribución de postes por altura

Altura (m)	Media Tensión		Baja Tensión		Total General	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
8	0	0.00%	90	100.00%	90	50.00%
12	85	94.40%	0	0.00%	85	47.20%
13	3	3.30%	0	0.00%	3	1.70%
15	2	2.20%	0	0.00%	2	1.10%
TOTAL	90	100%	90	100%	180	100%

Fuente. Elaboración propia basada en los datos extraídos del Sistema de Información Geográfica GIS de ELSE, 2025.

3.4.3. Antigüedad aproximada

El análisis temporal de las fechas de instalación registradas en las fichas técnicas permite establecer diferentes períodos de construcción de la infraestructura:

3.4.3.1. Período 2003-2008

- Representa la mayor concentración de instalaciones, con fechas principalmente en agosto de 2003, marzo de 2008 y agosto de 2007.
- Estos postes tienen una antigüedad aproximada de 17-22 años al momento del estudio.
- Incluye tanto postes de media tensión como de baja tensión, siendo este período el de mayor expansión de la red.

3.4.3.2. Período 2009-2010

- Instalaciones registradas principalmente en octubre y noviembre de 2009, y octubre de 2010.
- Antigüedad aproximada de 14-16 años.
- Menor volumen de instalaciones comparado con el período anterior.

3.4.3.3. Período 2014-2019

- Instalaciones más recientes, con registros en diciembre de 2014, febrero de 2019 y noviembre de 2018.
- Antigüedad aproximada de 6-11 años.
- Representa las renovaciones y ampliaciones más recientes de la red.

La antigüedad promedio de la infraestructura se estima en aproximadamente 15-18 años, lo que indica que una proporción significativa de los postes se encuentra en la etapa media de su vida útil, requiriendo evaluaciones periódicas para determinar su estado estructural y necesidades de mantenimiento o reemplazo.

Tabla 3.8*Cronología de instalaciones por períodos*

Período	Año Principal	Media Tensión		Baja Tensión		Total	
		Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Periodo 2003 - 2008	2003-2008	42	46.70%	81	90.00%	123	68.30%
- agosto 2003	2003	0	0.00%	77	85.60%	77	42.80%
- agosto 2007	2007	14	15.60%	0	0.00%	14	7.80%
- marzo 2008	2008	28	31.10%	0	0.00%	28	15.60%
- diciembre 2006	2006	0	0.00%	4	4.40%	4	2.20%
Periodo 2007 - 2010	2009-2010	9	10.00%	5	5.60%	14	7.80%
- octubre 2009	2009	7	7.80%	0	0.00%	7	3.90%
- noviembre 2009	2009	0	0.00%	4	4.40%	4	2.20%
- octubre 2010	2010	0	0.00%	1	1.10%	1	0.60%
- mayo 2007	2007	0	0.00%	4	4.40%	4	2.20%
- Otros 2009	2009	2	2.20%	0	0.00%	2	1.10%
Periodo 2010 - 2019	2014-2019	3	3.30%	1	1.10%	4	2.20%
- febrero 2019	2019	1	1.10%	0	0.00%	1	0.60%
- noviembre 2018	2018	1	1.10%	0	0.00%	1	0.60%
- diciembre 2014	2014	0	0.00%	1	1.10%	1	0.60%
- Otros 2019	2019	1	1.10%	0	0.00%	1	0.60%
Sin fecha registrada	-	36	40.00%	3	3.30%	39	21.70%
TOTAL		90	100%	90	100%	180	100%

Fuente. Elaboración propia basada en los datos extraídos del Sistema de Información

Geográfica GIS de ELSE, 2025.

Tabla 3.9*Distribución de postes por altura*

Categoría de Antigüedad	Rango de Años	Cantidad de Postes	Porcentaje
Reciente (0-10 años)	2014-2024	4	2.20%
Media (11-20 años)	2004-2013	137	76.10%
Antigua (21+ años)	2003 y anterior	77	21.70%
Sin información	-	39	21.70%
TOTAL		180	100%

Fuente. Elaboración propia basada en los datos extraídos del Sistema de Información Geográfica GIS de ELSE, 2025.

3.5. Metodología de evaluación de campo

La evaluación de campo se desarrolló mediante una inspección técnica en los sectores de Urubamba pertenecientes al alimentador UR 01, con el objetivo de identificar el estado actual de los postes de media y baja tensión que podrían estar siendo afectados por la instalación adicional de redes de fibra óptica. Para ello, se aplicaron los siguientes procedimientos metodológicos:

a) Inspección visual técnica:

Se realizó una inspección visual de varias estructuras, evaluando los siguientes aspectos físicos:

- Inclinação o deflexión del poste, indicando posibles esfuerzos excesivos o pérdida de verticalidad.
- Fisuras longitudinales o fracturas, especialmente en postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.), que podrían comprometer su integridad estructural.
- Aparición de agrietamientos o erosión en la base del poste, lo que podría deberse al desgaste por agentes ambientales o sobrecarga estructural.

- Sobrecarga de conductores eléctricos y de telecomunicaciones, evidenciada por la presencia de múltiples cables adosados al mismo poste, lo cual puede comprometer la estabilidad estructural y generar esfuerzos adicionales en las ménsulas y puntos de anclaje.

Figura 3.5

Poste de C.A.C. MT con nodo técnico ESE008NMT001467



Fuente. Registro fotográfico realizado durante la inspección de campo en Urubamba, 2025.

Figura 3.6

Poste de concreto MT con nodo técnico ESE008NMT001354



Fuente. Registro fotográfico realizado durante la inspección de campo en Urubamba, 2025.

Figura 3.7

Poste de C.A.C. MT con nodo técnico ESE008NMT001354



Fuente. Registro fotográfico realizado durante la inspección de campo en Urubamba, 2025.

Figura 3.8

Poste de C.A.C. BT con nodo técnico ESE008NBT006251



Fuente. Registro fotográfico realizado durante la inspección de campo en Urubamba, 2025.

Figura 3.9

Poste de concreto BT con nodo técnico ESE008NBT022549



Fuente. Registro fotográfico realizado durante la inspección de campo en Urubamba, 2025.

b) Registro fotográfico y georreferenciación

Se implementó una ficha técnica para el levantamiento de datos, en la cual se consignó información de cada poste inspeccionado, incluyendo:

- Código del poste o identificación visible.
- Ubicación georreferenciada mediante GPS (coordenadas UTM).
- Altura estimada del poste.
- Tipo de material (C.A.C.).
- Observaciones particulares sobre el estado estructural.

Acompañando el registro, se realizaron las siguientes fichas:

Tabla 3.10

Ficha Técnica de Inspección de Postes de Media Tensión

Código del Poste	Material	Altura (m)	Fecha de Instalación	UTM (Zona 18L)	Observaciones
ESE008NMT001354	Concreto	12	25/10/2009	809000 / 8522950	Buen estado, con fijaciones metálicas completas. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001358	Concreto	12	25/10/2009	809050 / 8522985	Instalación eléctrica y de fibra óptica compartida. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001359	Concreto	12	25/10/2009	809090 / 8523010	Poste ligeramente inclinado. Poste de cambio de ángulo (15°-30°).
ESE008NMT001372	Concreto	12	25/10/2009	809130 / 8523050	Presencia de cajas de derivación de telecomunicaciones. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001375	Concreto	12	25/10/2009	809170 / 8523090	Poste con carga combinada (BT y FO). Poste de anclaje.
ESE008NMT001376	Concreto	12	-	809190 / 8523120	Datos incompletos. Estado estructural aceptable. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001379	Concreto	12	-	809220 / 8523150	Poste con exceso de conductores, requiere evaluación. Poste de cambio de ángulo (>30°).
ESE008NMT001186	Concreto	12	-	809260 / 8523190	En buen estado. No presenta deformaciones visibles. Poste terminal.
ESE008NMT001189	Concreto	12	25/10/2009	809300 / 8523230	Poste con empalmes and riostras completas. Poste de anclaje.
ESE008NMT001190	Concreto	12	25/10/2009	809330 / 8523260	Instalación compartida con ATB1. Poste de alineamiento.

Código del Poste	Material	Altura (m)	Fecha de Instalación	UTM (Zona 18L)	Observaciones
ESE008NMT001191	Concreto	12	25/10/2009	809370 / 8523300	Buen alineamiento del vano. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001192	Concreto	12	25/10/2009	809400 / 8523335	Poste sin anomalías visibles. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001516	Concreto	12	25/10/2009	809420 / 8523360	Requiere limpieza de vegetación circundante. Poste de cambio de ángulo (15°-30°).
ESE008NMT008240	Concreto	15	25/10/2009	809450 / 8523400	Poste de mayor altura con múltiples tensiones y fibra óptica. Poste de anclaje.
ESE008NMT008239	Concreto	15	25/10/2009	809480 / 8523430	Buen estado general. Poste terminal.
ESE008NMT001506	Concreto	12	25/10/2009	809510 / 8523450	Cargas eléctricas altas. Poste de cambio de ángulo (>30°).
ESE008NMT006089	Concreto	12	25/08/2007	809550 / 8523490	Poste con ligera fisura en la base. Poste de alineamiento.
ESE008NMT001579	Concreto	12	25/08/2007	809580 / 8523525	Poste de cabecera. Apoya varias derivaciones. Poste de cambio de ángulo (>30°).

Fuente. Elaboración propia a partir de inspección de campo – Urubamba UR 01, 2025.

Tabla 3.11

Ficha Técnica de Inspección de Postes de Baja Tensión

Código del Poste	Material	Altura (m)	Fecha de Instalación	UTM (Zona 18L)	Observaciones
ESE008NBT006251	Concreto	8	6/08/2003	808766 / 8522907	Poste de C.A.C. con deflexión por el cable de fibra óptica. Poste de alineamiento.
ESE008NBT006220	Concreto	8	6/08/2003	808788 / 8522870	Inclinación leve. Instalación de fibra óptica. Poste de cambio de ángulo (15°-30°).
ESE008NBT006226	Concreto	8	6/08/2003	808750 / 8522855	Deflexión lateral visible. Poste terminal.
ESE008NBT023437	Concreto	8	12/11/2009	808790 / 8522940	Base erosionada. Cajas de derivación. Poste de alineamiento.
ESE008NBT006227	Concreto	8	6/08/2003	808740 / 8522920	Fisuras en la parte superior. Poste de cambio de ángulo (>30°).

ESE008NBT006236	Concreto	8	6/08/2003	808720 / 8522880	Poste inclinado. Presencia de cables eléctricos y de telecomunicaciones. Poste de anclaje.
ESE008NBT006234	Concreto	8	6/08/2003	808702 / 8522850	Estado estructural regular. Poste de alineamiento.
ESE008NBT006218	Concreto	8	6/08/2003	808780 / 8522810	Poste con anclaje flojo. Poste terminal.
ESE008NBT006233	Concreto	8	6/08/2003	808800 / 8522830	Instalación con múltiples acometidas. Poste de cambio de ángulo (15°-30°).
ESE008NBT006252	Concreto	8	6/08/2003	808815 / 8522795	Poste sobrecargado. Poste de anclaje.
ESE008NBT006213	Concreto	8	6/08/2003	808830 / 8522755	Poste con base agrietada. Poste de alineamiento.
ESE008NBT006228	Concreto	8	6/08/2003	808845 / 8522770	Condición deficiente, requiere evaluación. Poste terminal.
ESE008NBT020746	Concreto	8	9/12/2006	808860 / 8522735	En buen estado, con accesorios de telecomunicaciones. Poste de alineamiento.
ESE008NBT020750	Concreto	8	9/12/2006	808870 / 8522700	Poste de concreto sin daños visibles. Poste de alineamiento.
ESE008NBT022549	Concreto	8	12/10/2009	808890 / 8522640	Base en contacto con vegetación. Poste de cambio de ángulo (>30°).

Fuente. Elaboración propia a partir de inspección de campo – Urubamba UR 01, 2025.

3.6. Planimetría y situación actual

Este apartado presenta la representación gráfica de la red de distribución eléctrica correspondiente al alimentador UR 01, con énfasis en la ubicación georreferenciada de los postes, longitudes de vanos, tiros mecánicos y la coexistencia con las redes de fibra óptica instaladas.

La información planimétrica fue elaborada a partir de bases de datos del sistema de información geográfica (GIS) proporcionadas por la empresa concesionaria, complementadas con levantamientos de campo realizados mediante equipos GPS y recorridos visuales en el área de estudio.

Los planos obtenidos permiten identificar de manera precisa:

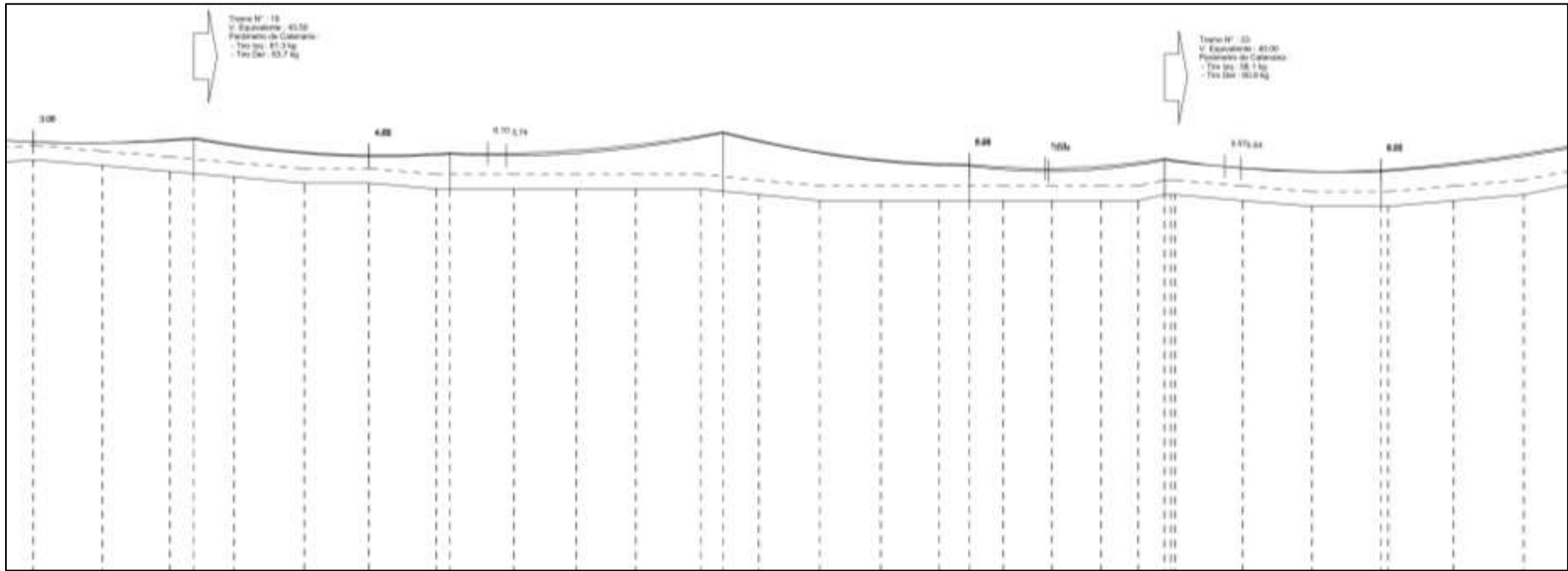
- La distribución espacial de los postes de media y baja tensión.
- Los tramos de red eléctrica que coinciden físicamente con redes de fibra óptica.

Estas representaciones cartográficas constituyen una parte importante para el análisis posterior, ya que permiten delimitar las zonas críticas que requieren reconfiguración estructural. Asimismo, facilitan la comparación entre la situación actual y las alternativas de mejora propuestas en los capítulos siguientes.

A continuación se presentan los perfiles estructurales de los postes críticos modelados en DLTCAD.

Figura 3.10

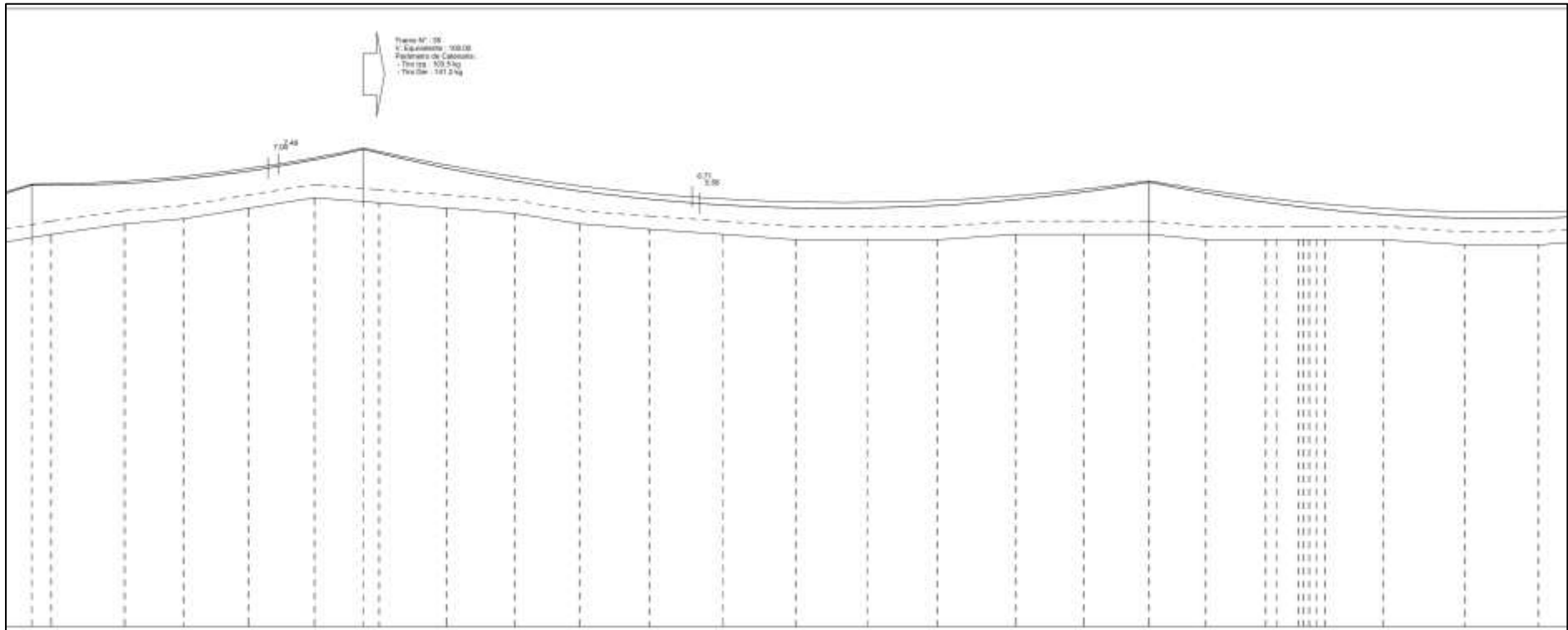
Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en BT nodos ESE008NBT006251 - ESE008NBT022549



Fuente. Representación gráfica del alimentador UR-01 en Urubamba, donde se muestra la disposición de postes de BT, vanos eléctricos y rutas de fibra óptica adosadas. Elaborado a partir de datos GIS de ELSE y modelado en DLTCAD, 2025.

Figura 3.11

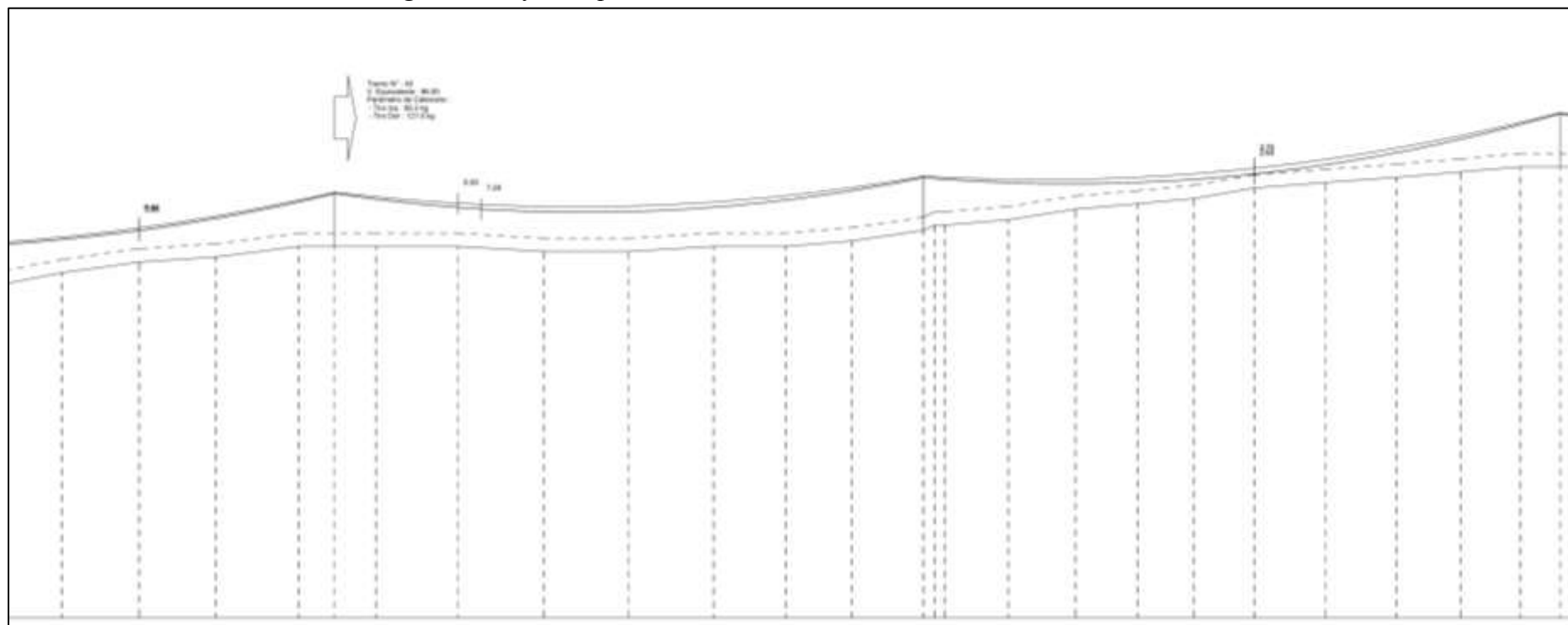
Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en MT nodo ESE008NMT001467



Fuente. Representación gráfica del alimentador UR-01 en Urubamba, donde se muestra la disposición de postes de BT, vanos eléctricos y rutas de fibra óptica adosadas. Elaborado a partir de datos GIS de ELSE y modelado en DLTCAD, 2025.

Figura 3.12

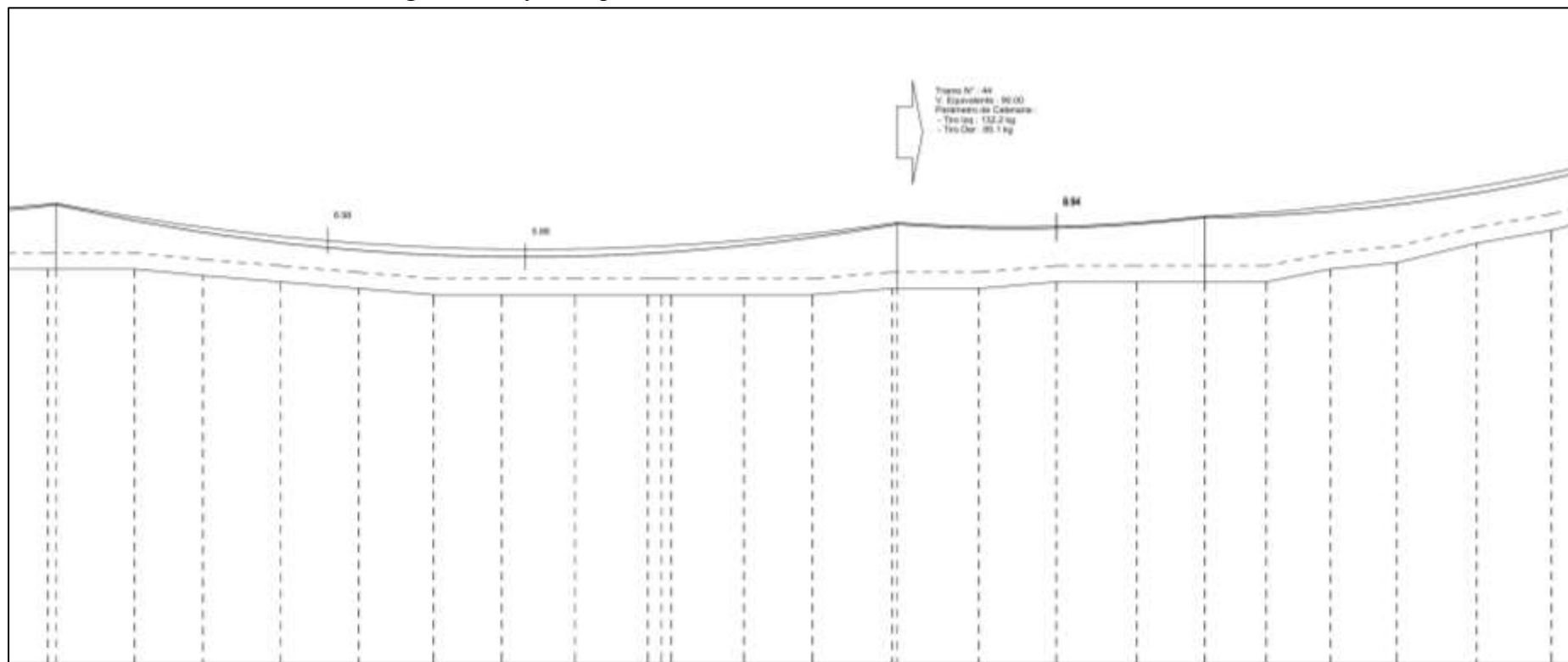
Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en MT nodo ESE008NMT001354



Fuente. Representación gráfica del alimentador UR-01 en Urubamba, donde se muestra la disposición de postes de BT, vanos eléctricos y rutas de fibra óptica adosadas. Elaborado a partir de datos GIS de ELSE y modelado en DLTCAD, 2025.

Figura 3.13

Planimetría de red eléctrica con integración de fibra óptica en MT nodo ESE008NMT001579



Fuente. Representación gráfica del alimentador UR-01 en Urubamba, donde se muestra la disposición de postes de BT, vanos eléctricos y rutas de fibra óptica adosadas. Elaborado a partir de datos GIS de ELSE y modelado en DLTCAD, 2025.

3.7. Resultados del diagnóstico

Como parte del proceso de evaluación en campo, se realizó el diagnóstico técnico de los postes, distribuidos entre estructuras de media tensión (MT) y baja tensión (BT) en los sectores comprendidos del alimentador UR 01 de la empresa concesionaria, en Urubamba.

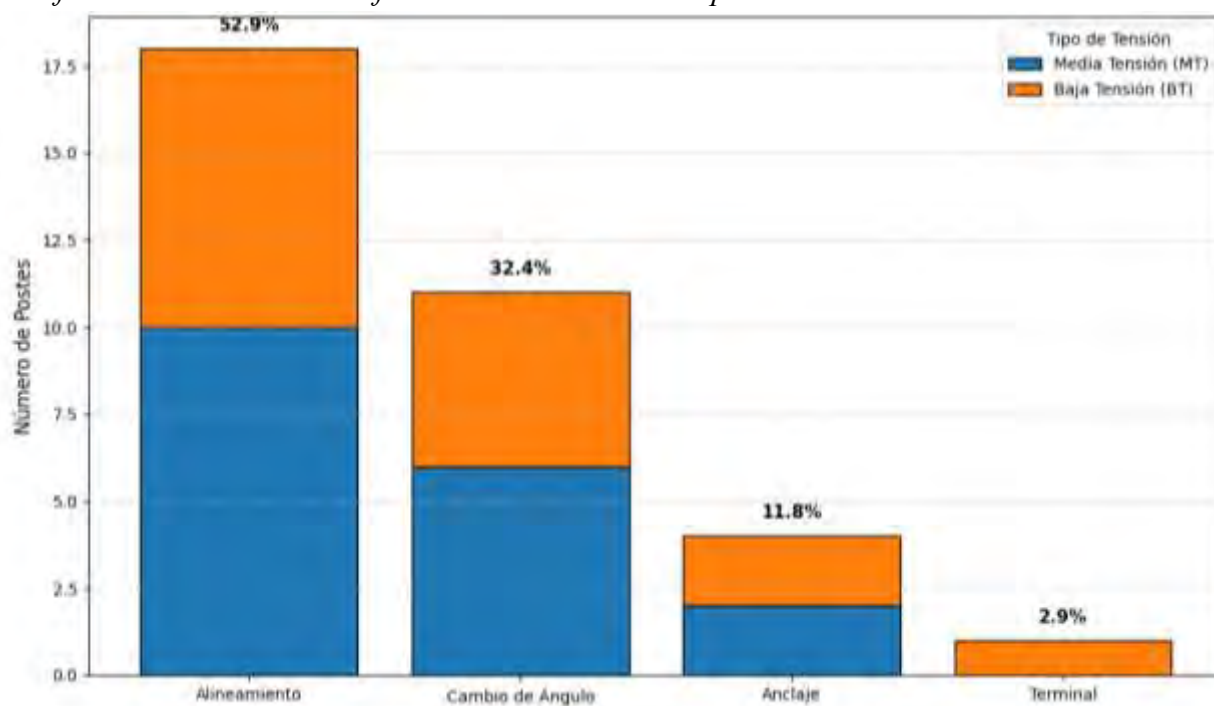
Del total inspeccionado, se contabilizaron:

- Postes de baja tensión (BT): 16 unidades
- Postes de media tensión (MT): 18 unidades

Estos postes fueron evaluados mediante inspección visual directa, registro fotográfico, y fichas técnicas que permitieron documentar su estado físico y funcional. A continuación se presenta el resumen de acuerdo a su clasificación funcional:

Figura 3.14

Clasificación de acuerdo a la función estructural de los postes del alimentador UR 01



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3.12*Resumen de clasificación funcional de postes inspeccionados*

Función Estructural	Media Tensión (MT)	Baja Tensión (BT)	Total General	Porcentaje
Alineamiento	10	8	18	52.90%
Cambio de Ángulo	6	5	11	32.40%
Anclaje	2	2	4	11.80%
Terminal	0	1	1	2.90%
TOTAL	18	16	34	100%

Fuente. Elaboración propia a partir de inspección de campo – Urubamba UR 01, 2025.

3.8. Conclusiones del estado actual

A partir del diagnóstico realizado en los sectores evaluados del alimentador UR 01 en Urubamba, se arribaron a las siguientes conclusiones respecto al estado actual de los postes de media y baja tensión:

a) Identificación de tramos críticos

Se identificaron varios tramos críticos con presencia de postes que muestran deflexión, deterioro del material o sobrecarga por elementos adheridos, especialmente en zonas con instalación conjunta de redes eléctricas y de fibra óptica.

Los tramos más comprometidos se localizan en áreas donde la concentración de cables de telecomunicaciones, generando sobreesfuerzos en las estructuras, principalmente en postes de concreto con más de 20 años de antigüedad.

b) Necesidad de intervención o evaluación estructural

Los resultados indican que una parte significativa de los postes inspeccionados requiere intervención inmediata o evaluación estructural, especialmente en los siguientes casos:

- Postes con deflexión visible que podría indicar debilitamiento del anclaje o base de cimentación.
- Estructuras con fisuras longitudinales o materiales degradados (concreto en estado avanzado de envejecimiento).

- Postes con sobrecarga de conductores y elementos de telecomunicaciones, que superan los límites estructurales previstos en su diseño original.

Ante esta situación, es necesario realizar el análisis estructural de los postes identificados como críticos, considerando tanto las cargas permanentes como las cargas adicionales generadas por el tendido de fibra óptica. Estos análisis permitirán validar su capacidad resistente y definir una alternativa para la reconfiguración estructural o el reemplazo total del elemento.

3.9. Criterios para la selección de muestras

Para el análisis estructural y diagnóstico de la red, se seleccionaron cinco postes pertenecientes al alimentador UR 01, considerando tanto estructuras de media tensión como de baja tensión. La elección de estas muestras se realizó bajo criterios técnicos y visuales observados en campo, priorizando aquellos postes que presentaban signos de esfuerzo estructural, inclinación leve, y coexistencia con instalaciones de redes de fibra óptica.

El criterio principal fue identificar estructuras representativas de las condiciones actuales de carga combinada (eléctrica y de telecomunicaciones), especialmente en zonas donde los postes muestran deformaciones visibles, lo que indica posibles afectaciones mecánicas por el sobrepeso o distribución asimétrica de los conductores.

Asimismo, se buscó incluir las alturas y configuraciones de vano, con el objetivo de evaluar cómo responden distintos tipos de postes ante cargas similares. La siguiente tabla resume las muestras seleccionadas para el estudio:

Tabla 3.13

Postes seleccionados para el análisis estructural bajo condiciones combinadas de carga eléctrica y de fibra óptica

Nº	Código del Poste	Material	Altura (m)	Vano Izquierdo (m)	Vano Derecho (m)
1	ESE008NMT001467	Concreto	12	75	125
2	ESE008NMT001354	Concreto	12	80	112
3	ESE008NMT001579	Concreto	12	130	50
4	ESE008NBT006251	Concreto	8	42	45
5	ESE008NBT022549	Concreto	8	38	42

Fuente. Los postes seleccionados fueron identificados durante el levantamiento de campo, priorizando aquellos que presentaban signos visibles de esfuerzos estructurales, inclinación o deterioro, además de coexistencia con redes de fibra óptica.

La inclusión de estos postes permitirá realizar una evaluación del comportamiento estructural bajo condiciones reales, considerando tanto el tipo de soporte como la influencia de los vanos y el peso adicional de la red de fibra óptica. Esta información servirá de base para el modelado estructural y la posterior propuesta de reconfiguración técnica.

CAPÍTULO IV

4. EVALUACIÓN COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

4.1. Selección de postes comprometidos estructuralmente

Para el desarrollo del análisis estructural, se seleccionaron una serie de postes representativos que presentaron las condiciones más comprometidas desde el punto de vista estructural, de acuerdo con la inspección técnica de campo realizada en los sectores del alimentador UR 01, en Urubamba.

- La elección de estos casos se basó en una combinación de factores observados directamente durante la evaluación y registrados en las fichas técnicas:
 - Presencia de inclinación o deflexión visible, indicando posibles deformaciones estructurales o asentamientos en la base.
 - Alta carga de conductores, tanto eléctricos como de redes de fibra óptica, instalados en configuraciones compartidas.
 - Largos de vano considerables, que generan mayores esfuerzos de tracción sobre los postes.
- En algunos casos, se registraron vanos que oscilan entre 30 metros y 150 metros, lo que incrementa significativamente las cargas horizontales transmitidas por los conductores.
- Material y antigüedad de la estructura, dando prioridad a postes de concreto con más de 20 años de instalación, o postes de concreto con evidencia de fisuras o sobrecarga.

Tabla 4.1

Postes para análisis estructural

Nº	Código del Poste	Material	Altura (m)	Vano Izquierdo (m)	Vano Derecho (m)
1	ESE008NMT001467	Concreto	12	75	125
2	ESE008NMT001354	Concreto	12	80	112
3	ESE008NMT001579	Concreto	12	130	50
4	ESE008NBT006251	Concreto	8	42	45
5	ESE008NBT022549	Concreto	8	38	42

Fuente. Elaboración propia a partir de inspección de campo – Urubamba UR 01, 2025.

4.2. Herramientas utilizadas

Para el desarrollo del análisis estructural de los postes seleccionados se emplearon herramientas de software especializadas que permitieron simular con precisión el comportamiento de las estructuras frente a diferentes tipos de carga.

- DLTCAD fue utilizado para el cálculo de los tiros de los conductores, teniendo en cuenta las longitudes de vano, el tipo de conductor, la temperatura de operación y la flecha permisible. Esta herramienta permitió determinar con mayor exactitud las tensiones mecánicas que actúan sobre cada poste como resultado del sistema de distribución eléctrica y la red de fibra óptica adherida.
- SAP2000, un software de análisis estructural por elementos finitos, fue empleado para la modelación detallada de cada poste. Se definieron las características geométricas (altura, sección transversal), las propiedades del material (concreto), las condiciones de apoyo (tipo de cimentación) y las cargas aplicadas.

Los principales parámetros considerados en la modelación fueron:

- Altura del poste, de acuerdo con los datos de campo.
- Tipo de material estructural (concreto armado).
- Tipo de apoyo, considerado como empotramiento total.
- Cargas verticales, incluyendo peso propio, peso de conductores eléctricos y fibra óptica.
- Cargas laterales, como el empuje del viento y la tensión horizontal provocada por el tiro de los conductores.

4.3. Modelado estructural

4.3.1. Condiciones críticas (viento, temperatura)

Para analizar el comportamiento de los postes en condiciones críticas, se combinaron las cargas de los conductores eléctricos, fibra óptica y las acciones del entorno, como viento y temperatura extrema.

Los parámetros climáticos utilizados fueron obtenidos de registros locales típicos para la zona de Urubamba:

- Temperatura mínima de operación: 5 °C
- Velocidad del viento máxima considerada: 40 km/h
- Tensión admisible del conductor: 18 % del tiro de rotura (condición crítica según DLTCAD)

Figura 4.1
Configuración de las condiciones críticas

Fuente. Configuración de las condiciones críticas en el software DLTCAD para el cálculo de las tensiones ejercidas sobre los postes.

4.3.2. Clasificación de Postes por Función Estructural y Ángulo de Desviación

Antes de realizar el cálculo mecánico del conductor, es necesario definir la función estructural de cada poste y el ángulo de desviación de los conductores, ya que estos factores determinan la magnitud y dirección de las cargas horizontales que el poste debe desasistir. Un poste de alineamiento soporta cargas diferentes a las de un poste de anclaje o de cambio de dirección pronunciado, lo cual impacta directamente las fuerzas resultantes que afectan a este.

4.3.2.1. Postes de Alineamiento

Ubicados en tramos rectos, donde las componentes longitudinales de la tensión de los conductores se equilibran entre vanos adyacentes. Soporta principalmente cargas verticales y transversales (viento).

El ángulo de desviación de la línea es mínimo, generalmente entre 0° y 15° .

4.3.2.2. Postes de Cambio de Dirección (o Ángulo)

Se localizan en puntos donde la línea cambia de trayectoria. Deben soportar la resultante de las tensiones de los conductores de vanos adyacentes, lo que genera una fuerza neta lateral significativa. La exigencia aumenta con el ángulo:

- o Ángulo Leve: Entre 15° y 30° .
- o Ángulo Pronunciado: Superior a 30° . Requieren mayor resistencia estructural y cimentación.

4.3.2.3. Postes de Anclaje

Diseñados para soportar grandes esfuerzos longitudinales desbalanceados, se ubican para limitar tramos de línea, en cambios de terreno o para aislar secciones. Son las estructuras más críticas.

4.3.2.4. Postes Terminales

Situados al inicio o fin de la línea, soportan la tensión total de todos los conductores en una sola dirección.

De acuerdo con la vista de planta del alimentador UR 01 y el análisis de la configuración de vanos importada al software DLTCAD, se determinó el ángulo de desviación de los conductores. Esta clasificación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.2*Clasificación funcional de los postes analizados y su ángulo de desviación*

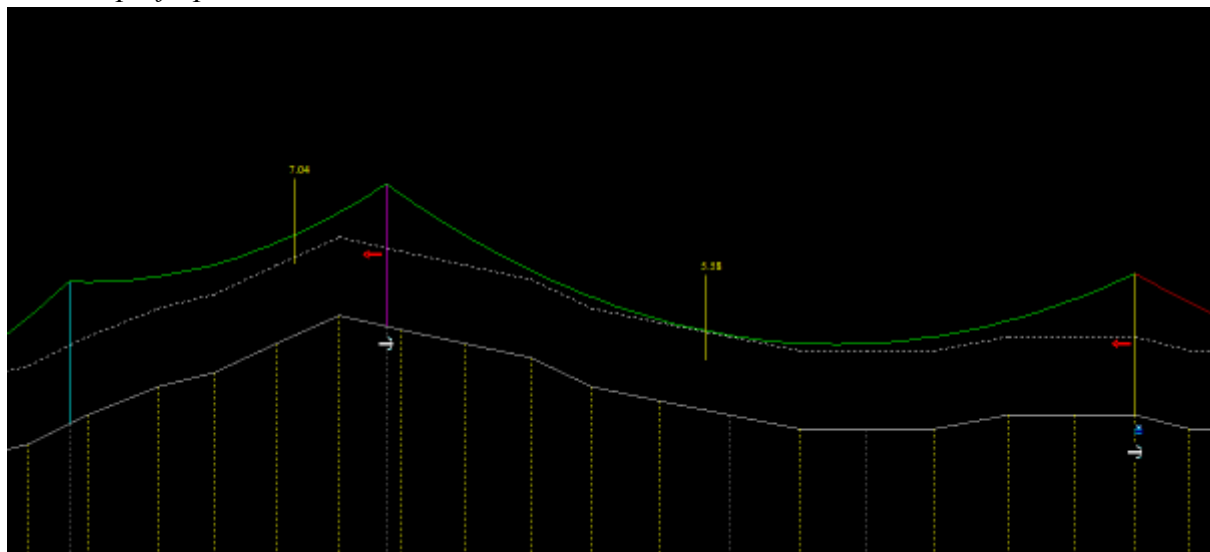
Nº	Código del Poste	Función Estructural	Ángulo de Desviación Calculado
1	ESE008NMT001467	Cambio de Dirección (Crítico)	35° 48' 00"
2	ESE008NMT001354	Cambio de Dirección (Moderado)	22° 36' 00"
3	ESE008NMT001579	Cambio de Dirección (Crítico)	48° 12' 00"
4	ESE008NBT006251	Alineamiento	3° 48' 00"
5	ESE008NBT022549	Alineamiento	5° 12' 00"

Fuente. Elaboración propia basada en la vista de planta importada del DLTCAD.

4.3.3. Tiro sometido al poste en condiciones originales.

En esta etapa se utilizó el software DLTCAD para calcular el tiro horizontal ejercido sobre cada poste únicamente por los conductores eléctricos existentes, en condiciones normales de operación.

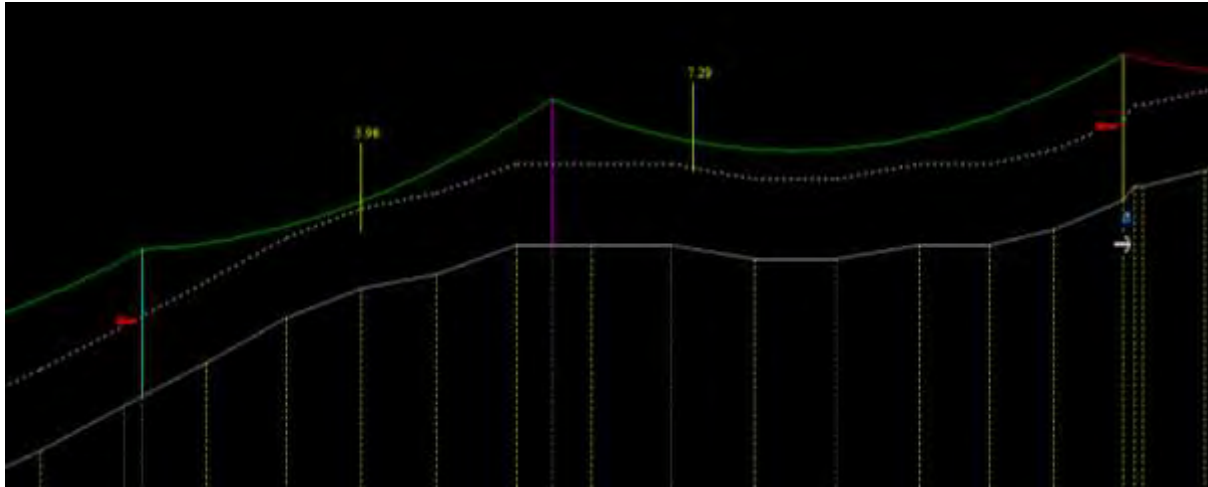
Se ingresaron los datos del tipo de conductor, configuración de vanos y alturas, obteniendo así el esfuerzo horizontal de tiro que el sistema de distribución eléctrica genera sobre la estructura del poste sin considerar otras cargas adicionales.

Figura 4.2*Vista de perfil para el ESE008NMT001467 condición inicial*

Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.3

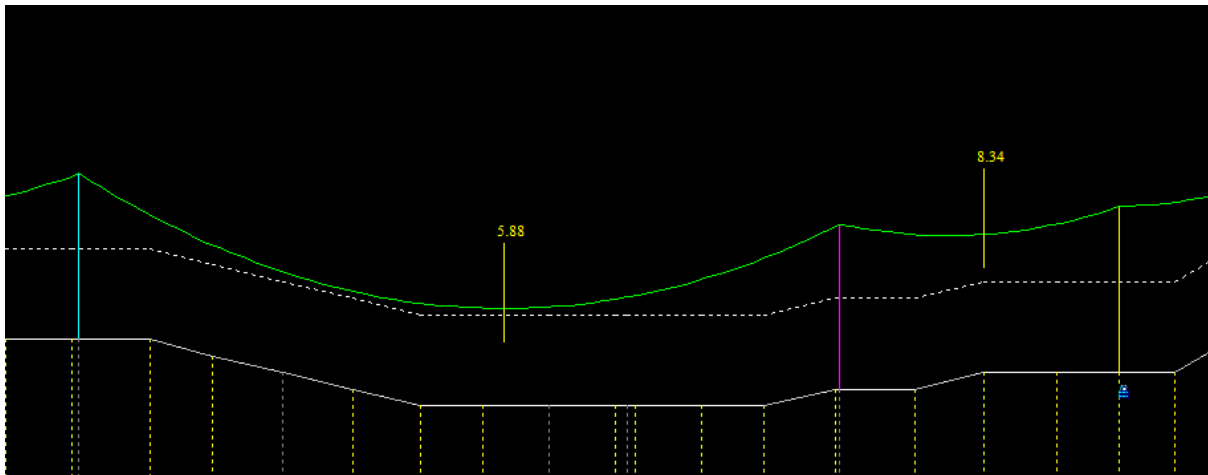
Vista de perfil para el ESE008NMT001354 condición inicial



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.4

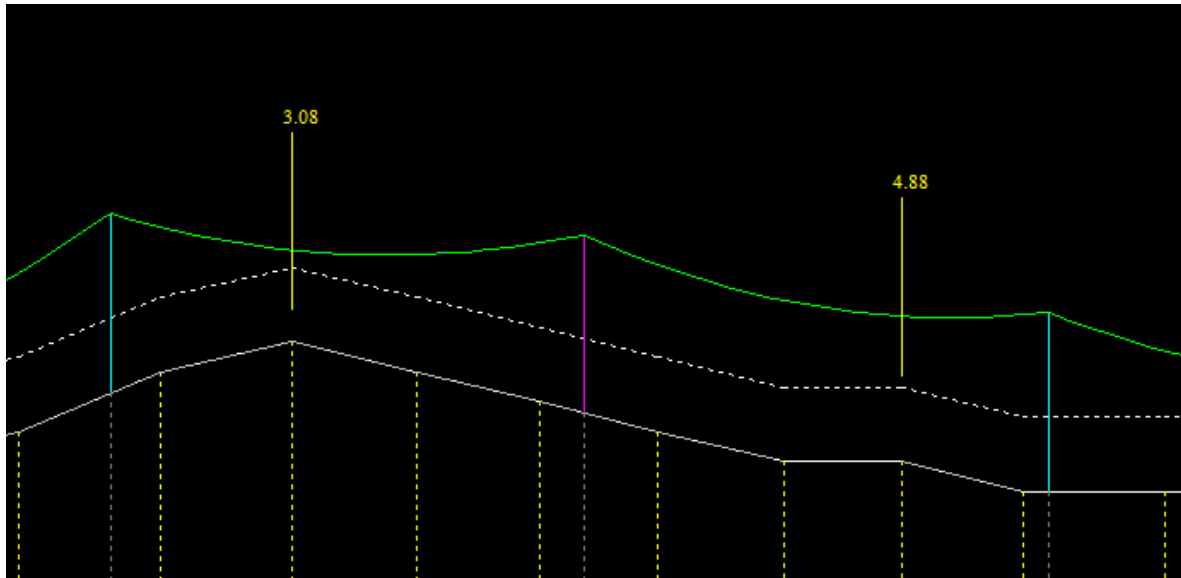
Vista de perfil para el ESE008NMT001579 condición inicial



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.5

Vista de perfil para el ESE008NBT006251 condición inicial



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.6

Vista de perfil para el ESE008NBT022549 condición inicial



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

4.3.4. Tiro con carga adicional por instalación de fibra óptica.

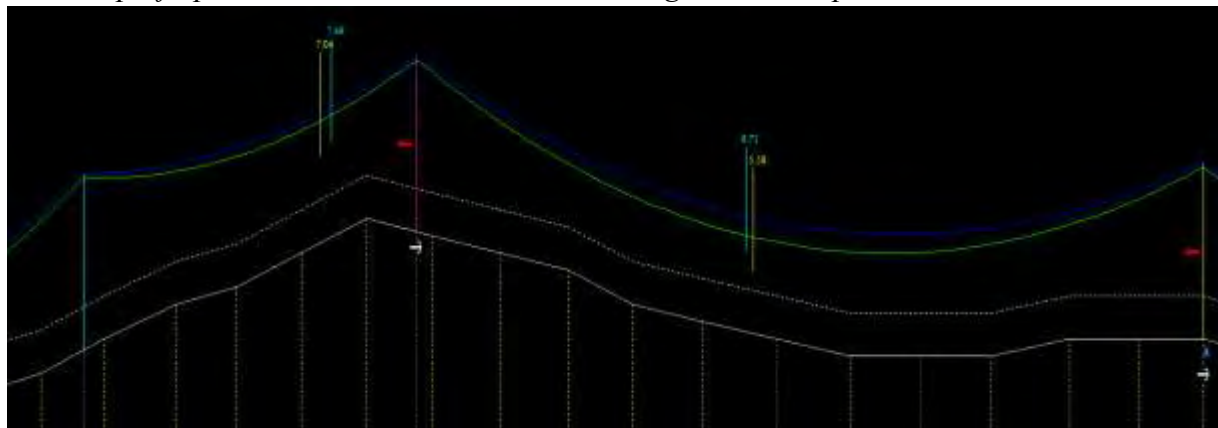
Posteriormente, se simuló en DLTCAD la carga combinada proveniente del sistema eléctrico y la instalación de cableado de fibra óptica sobre los mismos vanos. Para ello, se consideraron las características físicas del cable de telecomunicaciones (peso lineal, tensión, flecha) y su configuración observada en campo.

El programa permitió determinar el incremento en el tiro horizontal sobre los postes producto de esta nueva carga adherida, generando un segundo escenario de esfuerzos.

Este caso es especialmente relevante en tramos largos, donde la adición de fibra óptica sin rediseño estructural puede comprometer la estabilidad del sistema.

Figura 4.7

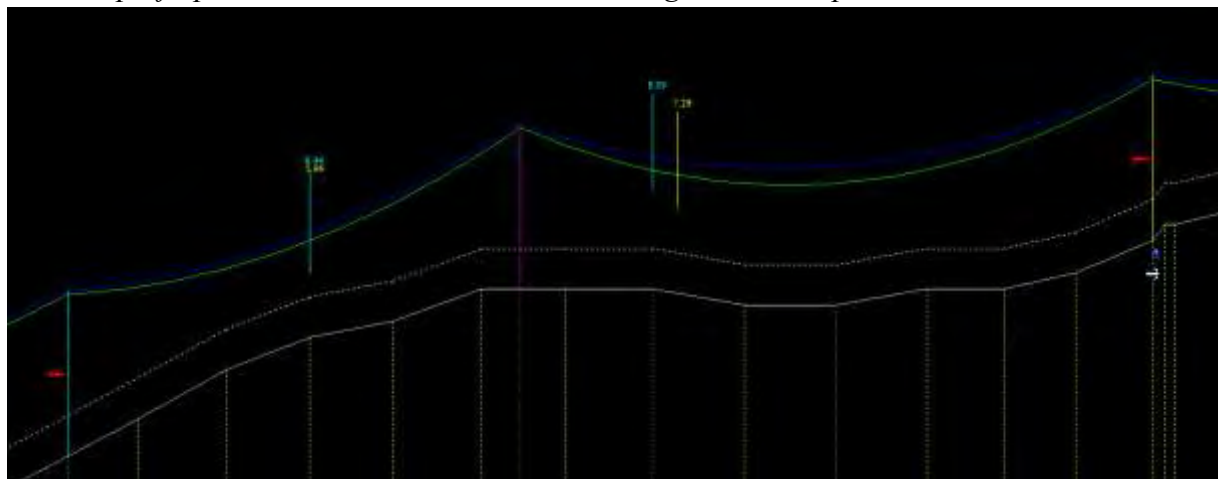
Vista de perfil para el ESE008NMT001467 con carga adicional por instalación de FO



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.8

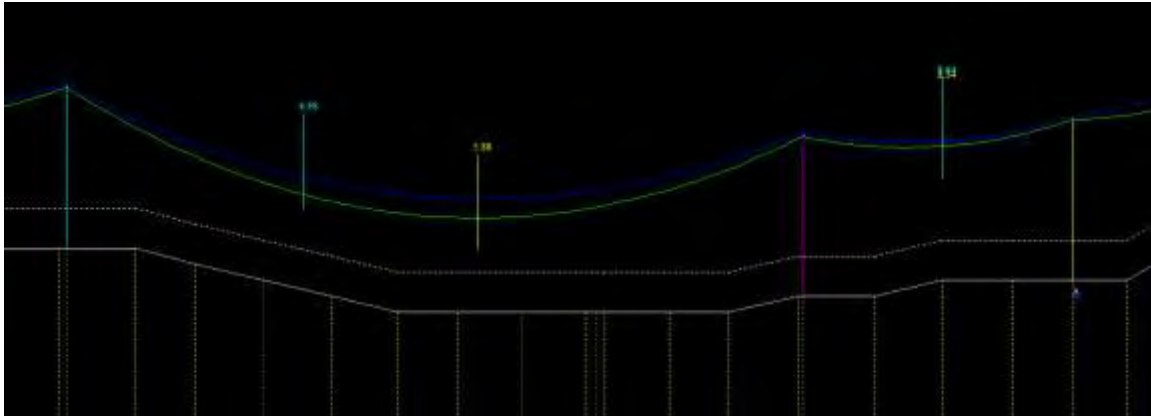
Vista de perfil para el ESE008NMT001354 con carga adicional por instalación de FO



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.9

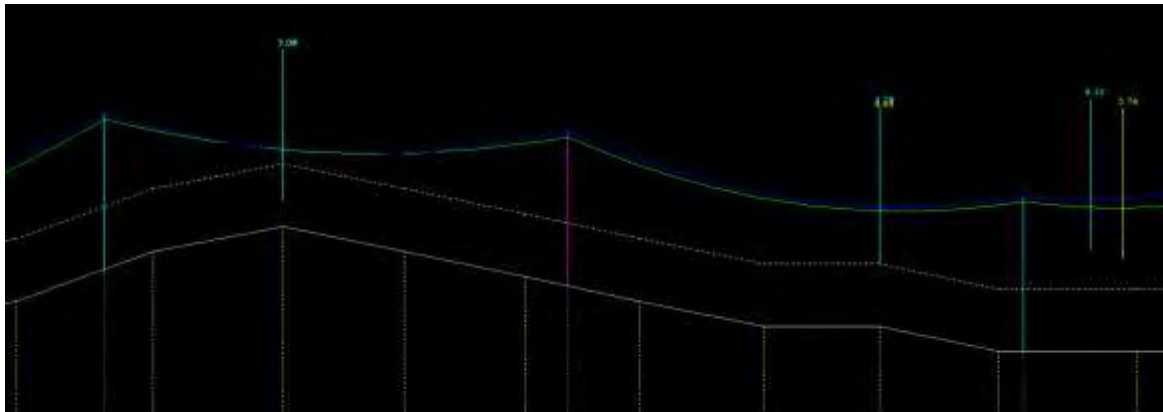
Vista de perfil para el ESE008NMT001579 con carga adicional por instalación de FO



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.10

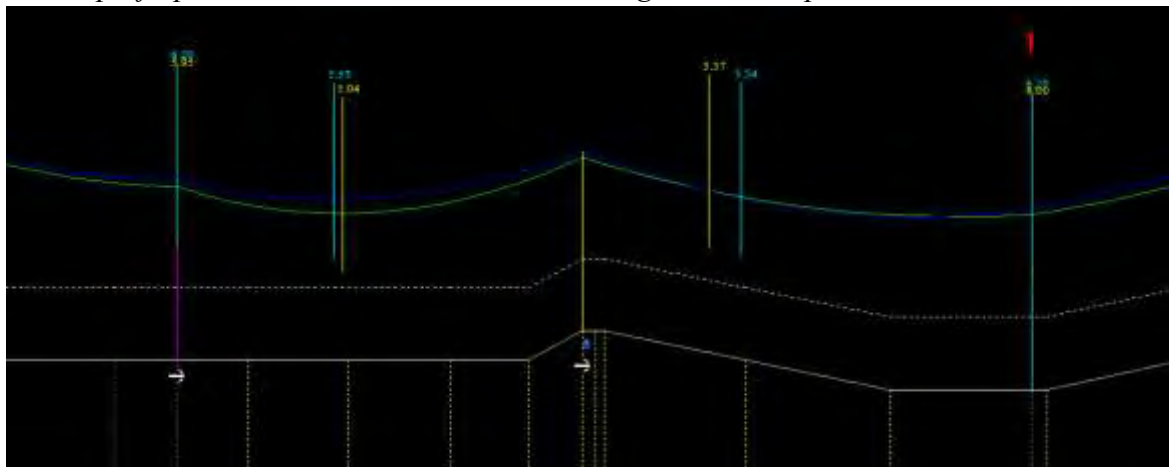
Vista de perfil para el ESE008NBT006251 con carga adicional por instalación de FO



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

Figura 4.11

Vista de perfil para el ESE008NBT022549 con carga adicional por instalación de FO



Fuente. Simulación realizada en el software DLTCAD, 2025.

4.3.5. Comparación de esfuerzos de tiro obtenidos en DLTCAD

Para evaluar el impacto de la instalación de fibra óptica sobre el esfuerzo estructural de los postes, con el software DLTCAD se calculó los esfuerzos de tiro horizontal que actúan sobre cada estructura. Se consideraron dos escenarios:

- Condición original: solo conductores eléctricos existentes.
- Condición combinada: conductores eléctricos con la adición del cableado de fibra óptica sobre la estructura.

Los tiros se calcularon para ambos lados del poste (izquierdo y derecho), tomando en cuenta las longitudes de vano, el tipo de conductor y la tensión admisible en condiciones iniciales. En la condición combinada, se incluyó el peso lineal adicional de los cables de telecomunicaciones.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.3

Comparación de esfuerzos de tiro ejercidos en cada estructura (kgf)

Nº	Código del Poste	Vano Izq. (m)	Vano Der. (m)	Tiro Izq.	Tiro Der.	Tiro Izq. (Con FO)	Tiro Der. (Con FO)
1	ESE008NMT001467	75	125	85.3	118.7	103.5	141.2
2	ESE008NMT001354	80	112	90.1	110.5	99.3	121.6
3	ESE008NMT001579	130	50	120.6	76.9	132.2	85.1
4	ESE008NBT006251	42	45	54.8	57.2	61.3	63.7
5	ESE008NBT022549	38	42	49.6	53.4	56.1	60.8

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados del DLTCAD.

Se observa un incremento promedio de entre 9 % y 13 % en los esfuerzos de tiro al incorporar la carga adicional de fibra óptica, lo cual resulta especialmente significativo en postes de Concreto o aquellos ubicados en tramos con vanos largos. Un caso representativo es el poste N.º 3 (ESE008NMT001579), que presenta un vano izquierdo de 130 m y alcanzó esfuerzos superiores a 130 kgf, situándose entre los más exigidos y críticos dentro del análisis estructural.

Asimismo, los postes de baja tensión muestran también incrementos Fuentebles, lo que podría provocar deformaciones progresivas si no se toman medidas correctivas, especialmente en estructuras antiguas o deterioradas.

De manera particular, en el poste ESE008NMT001467, se identificó en campo la presencia de múltiples cables de fibra óptica pertenecientes a distintos operadores. Esta sobrecarga generó un esfuerzo adicional considerable, por lo que los tiros simulados con DLTCAD fueron ajustados, alcanzando hasta 141.2 kgf en el vano derecho, uno de los valores más altos registrados en la red evaluada.

Por otro lado, en los circuitos de media tensión (MT), se utiliza conductor de aleación de aluminio AAAC 6201-T81 de 35 mm² de sección, el cual presenta un tiro de rotura característico de 1,150 kgf. Este valor, obtenido de catálogos técnicos de fabricantes acreditados, representa la carga máxima de ruptura del conductor bajo condiciones de ensayo normalizadas.

Y en los circuitos de baja tensión (BT), se emplea cable autoportante tipo CAAI con configuración 3x35 mm², que incluye un cable portante de aleación de aluminio-aluminio aislado. Para este tipo de cable, el tiro de rotura del conjunto completo alcanza los 1,800 kgf, mientras que cada conductor de fase individual posee una resistencia mecánica característica de 600 kgf. Esta distinción es crucial para el análisis, ya que las cargas se distribuyen diferencialmente entre el elemento portante y los conductores de fase.

Tabla 4.4*Factor de Seguridad de acuerdo al tiro generado*

Nº	Código del Poste	Conductor	Tiro Máximo (kgf)	Tiro Rotura (kgf)	Coef. Seguridad	Cumple
1	ESE008NMT001467	AAAC 35mm ²	141.2	1,150	8.1	Sí
2	ESE008NMT001354	AAAC 35mm ²	121.6	1,150	9.5	Sí
3	ESE008NMT001579	AAAC 35mm ²	132.2	1,150	8.7	Sí
4	ESE008NBT006251	CAAI 3x35	63.7	600	9.4	Sí
5	ESE008NBT022549	CAAI 3x35	60.8	600	9.9	Sí

Fuente. Factores calculados según NTC 2050. Todos cumplen con $CS \geq 2$.

4.3.6. Cálculo mecánico de cimentación de postes

El presente apartado desarrolla el cálculo mecánico de cimentación de postes de concreto armado de 12 m y 8 m de altura, utilizando el método de Sulzberger, una técnica ampliamente empleada en ingeniería eléctrica para verificar la estabilidad estructural de postes empotrados sometidos a esfuerzos horizontales.

Este análisis es fundamental para asegurar que los esfuerzos transmitidos por el poste al terreno no superen la capacidad portante del suelo, y que la cimentación garantice la estabilidad frente a cargas combinadas, particularmente en zonas donde existe coexistencia de redes eléctricas y de fibra óptica.

4.3.6.1. Cálculo para postes de 12 m de altura C.A.C.

Se utilizó el método de Sulzberger, considerando las siguientes características del terreno y del poste:

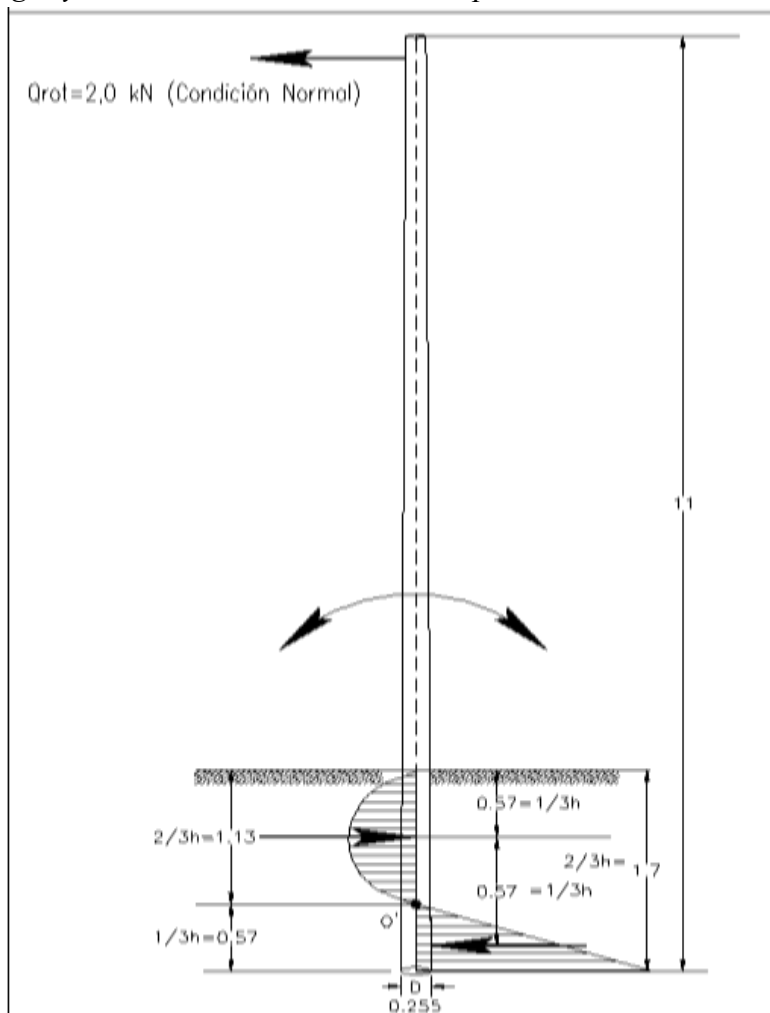
- ✓ Capacidad portante del terreno (Cb): 2 kg/cm²
- ✓ Coeficiente del terreno (Ct): 19.61 N/cm²
- ✓ Altura del poste (H): 12 m
- ✓ Longitud empotrada (h): 1.80 m
- ✓ Diámetro de base del poste (D): 34.5 cm

✓ Fuerza horizontal máxima (F): 2.00 kN

✓ Longitud libre del poste: 10.05 m

Figura 4.12

Diagrama de cargas y reacciones en cimentación de poste C.A.C.



Fuente. Distribución de fuerzas horizontales (* $Q_k = 2.0 \text{ kN}$ *) y momentos en la cimentación, mostrando puntos críticos a $1/3h$ y $2/3h$ de la longitud empotrada.

Se evaluaron los esfuerzos de compresión generados en dos zonas de contacto con el terreno:

Tabla 4.5

Resultados del cálculo mecánico de cimentación para poste de 12 m mediante el método de Sulzberger

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de compresión R1	23.3	kN
Fuerza de compresión R2	21.3	kN
Área de compresión A1	2070	cm ²
Área de compresión A2	4140	cm ²
Esfuerzo de compresión D1	5.14	N/cm ²
Esfuerzo de compresión D2	10.29	N/cm ²
Coeficiente admisible del terreno (Ct)	19.61	N/cm ²

Fuente. Los valores mostrados corresponden al análisis de esfuerzos de compresión generados en la base del poste y su interacción con el terreno, considerando las cargas horizontales máximas actuantes.

Verificación de estabilidad:

- $D1 = 5.14 \text{ N/cm}^2 < 19.61 \text{ N/cm}^2 \rightarrow \text{Cumple}$
- $D2 = 10.29 \text{ N/cm}^2 < 19.61 \text{ N/cm}^2 \rightarrow \text{Cumple}$

Por lo tanto, la cimentación de los postes de 12 metros cumple con los requerimientos de estabilidad según el método aplicado.

4.3.6.2. Cálculo para postes C.A.C. de 8 m de altura

Para los postes de baja tensión de 8 m de altura, también se utilizó el método de Sulzberger, considerando las siguientes condiciones:

- ✓ Altura del poste (H): 8 m
- ✓ Longitud empotrada (h): 1.30 m
- ✓ Diámetro de base del poste (D): 26 cm
- ✓ Fuerza horizontal máxima (F): 2.00 kN
- ✓ Coeficiente del terreno (Ct): 19.61 N/cm²

Tabla 4.6

Resultados del cálculo mecánico de cimentación para poste de 8 m mediante el método de Sulzberger

Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de compresión R1	23.74	kN
Fuerza de compresión R2	21.74	kN
Área de compresión A1	1126.67	cm ²
Área de compresión A2	2253.33	cm ²
Esfuerzo de compresión D1	9.65	N/cm ²
Esfuerzo de compresión D2	19.29	N/cm ²
Coeficiente admisible del terreno (Ct)	19.61	N/cm ²

Fuente. Los valores mostrados corresponden al análisis de esfuerzos de compresión generados en la base del poste y su interacción con el terreno, considerando las cargas horizontales máximas actuantes.

Verificación de estabilidad:

- $D1 = 9.65 \text{ N/cm}^2 < 19.61 \text{ N/cm}^2 \rightarrow \text{Cumple}$
- $D2 = 19.29 \text{ N/cm}^2 < 19.61 \text{ N/cm}^2 \rightarrow \text{Cumple}$

Los resultados obtenidos confirman que tanto los postes de media como de baja tensión cumplen con los criterios de estabilidad en la cimentación según el método de Sulzberger. Esto valida su desempeño estructural bajo cargas combinadas de redes eléctricas y de fibra óptica, sin comprometer la seguridad ni generar fallas por hundimiento o volcamiento.

4.3.7. Análisis estructural del poste debido a las cargas actuantes

Una vez obtenidos los esfuerzos de tiro horizontales mediante DLTCAD para las distintas condiciones de carga (original y con instalación de fibra óptica), se procedió al análisis estructural de los postes seleccionados utilizando el software SAP2000, basado en el método de elementos finitos. El objetivo fue determinar la respuesta estructural de los postes frente a las cargas actuantes reales y críticas.

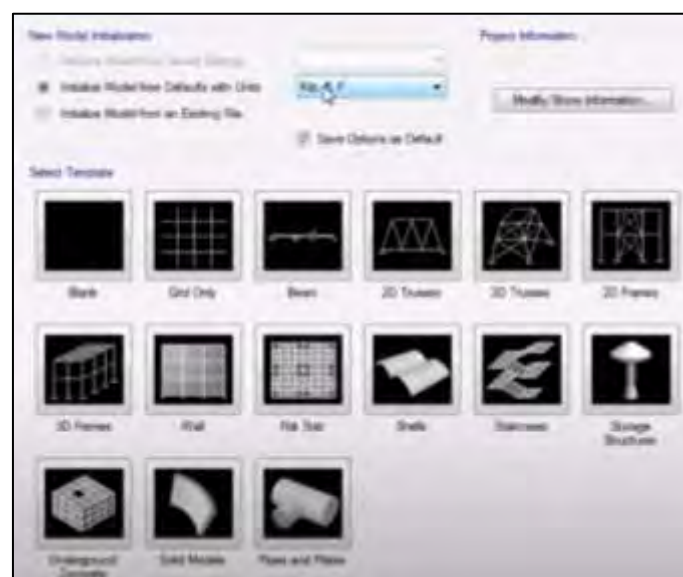
4.3.7.1. Configuración del modelo estructural

Se construyó un modelo individual para cada poste representativo, tomando como base su geometría, material y condiciones de carga obtenidas en campo. Se definieron los siguientes parámetros clave:

- Altura total del poste (8 m y 12 m según el caso).
- Tipo de material: concreto.
- Sección transversal aproximada, de acuerdo a catálogos típicos de postes eléctricos.
- Condición de apoyo en la base: se consideró como empotramiento rígido para simular la cimentación enterrada en suelo compacto.
- Carga vertical: peso propio del poste, accesorios adheridos, y carga puntual si se identificó.
- Cargas horizontales: esfuerzos de tiro izquierdo y derecho obtenidos en DLTCAD para cada caso.
- Carga de viento: se aplicó como una carga distribuida horizontal, estimada con base en una velocidad de viento de 40 km/h, sobre toda la altura del poste.

Figura 4.13

Configuración de parámetros estructurales en el entorno de modelado

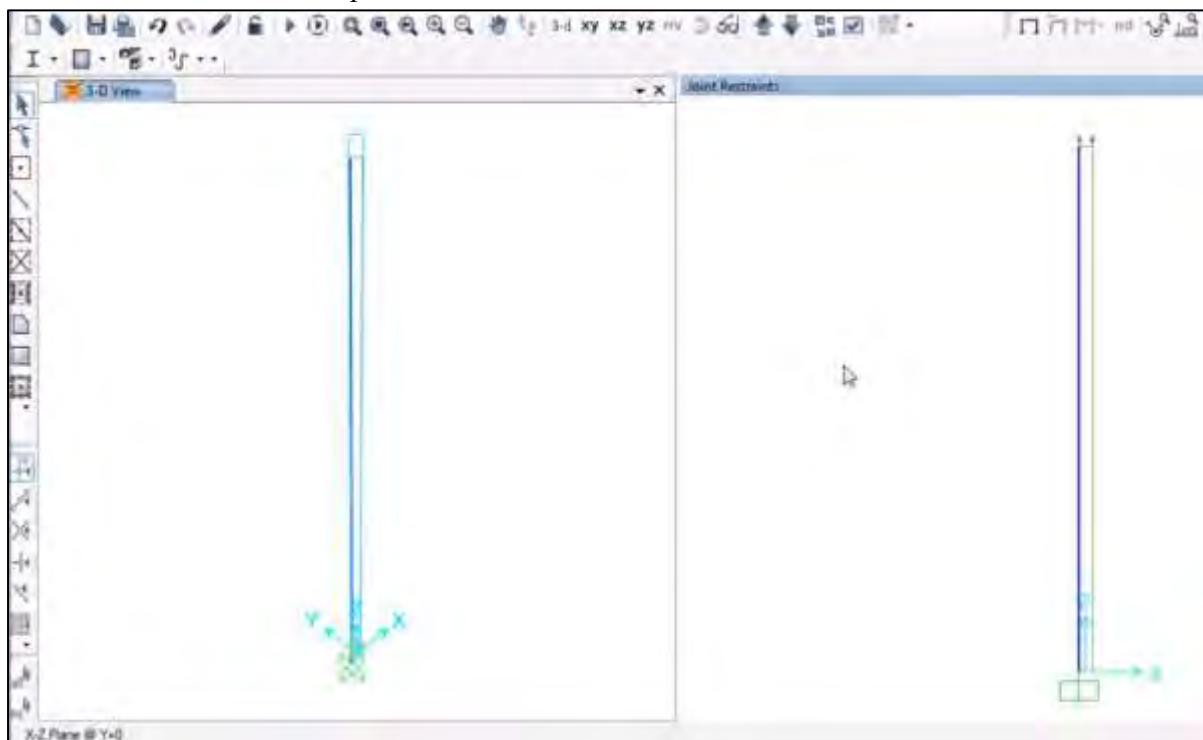


Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

Se dibujó la geometría aproximada del poste, según las dimensiones comunes de postes de C.A.C. de media tensión 12 m y baja tensión 8 m, usando secciones transversales tubulares para postes de concreto y secciones macizas para postes de concreto.

Figura 4.14

Modelado de la estructura para el análisis estructural.



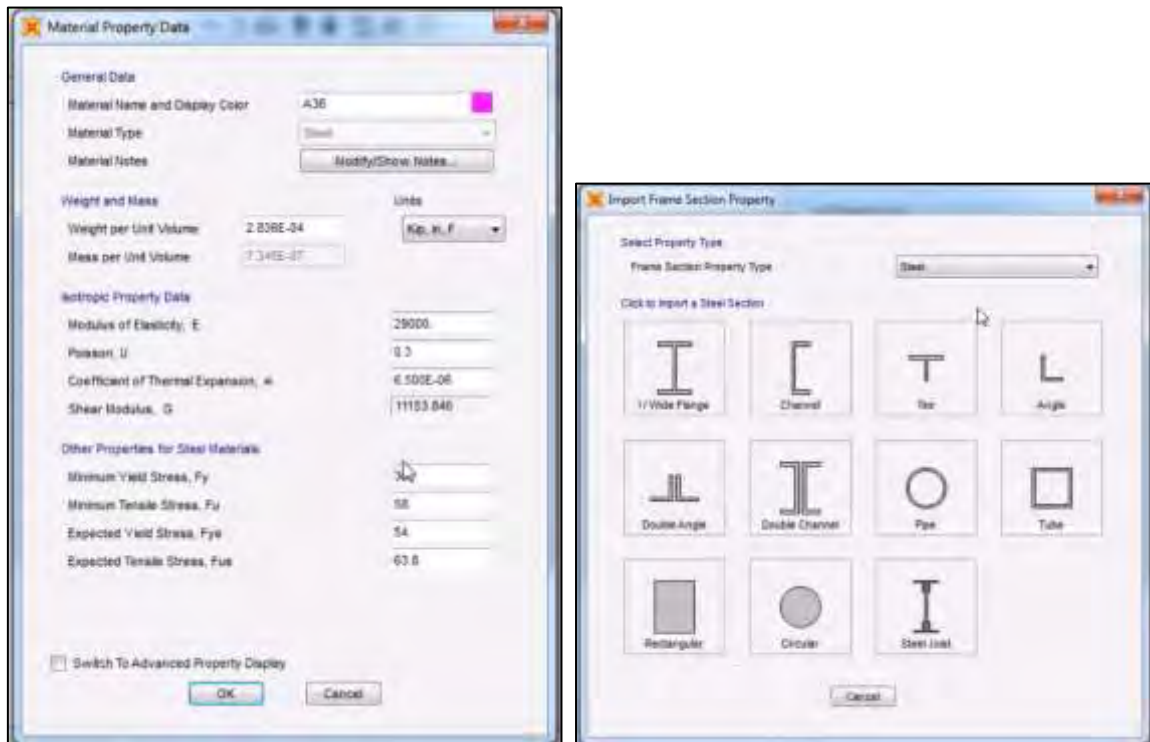
Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

4.3.7.2. Asignación de materiales y condiciones del entorno

Se asignaron propiedades mecánicas correspondientes a los materiales de cada poste. Para postes de concreto centrifugado, se utilizó un módulo de elasticidad de 25 000 MPa, mientras que para postes de concreto, se asignó un módulo de 11 000 MPa, asumiendo comportamiento lineal elástico. También se definió el peso propio, densidad y coeficientes de resistencia.

Figura 4.15

Asignación de propiedades mecánicas y materiales del poste.

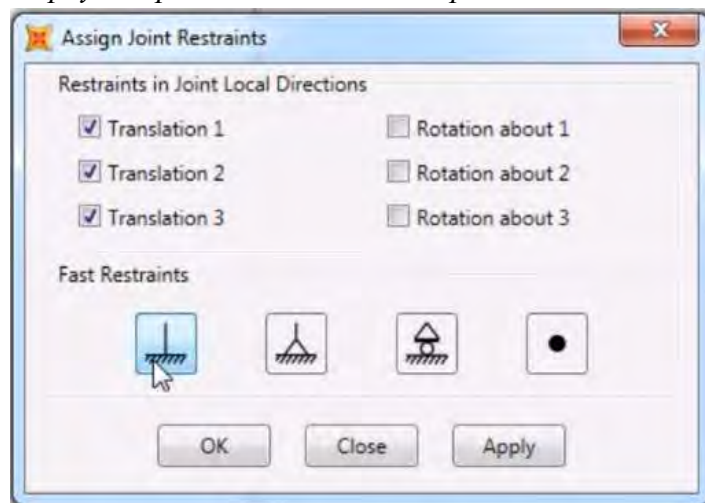


Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

La condición de apoyo se estableció como empotramiento rígido, permitiendo restringir los grados de libertad en la base del poste, simulando su cimentación real. Esto resulta fundamental para representar adecuadamente el comportamiento ante cargas horizontales.

Figura 4.16

Selección del tipo de apoyo empotrado en la base del poste.



Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

Las condiciones ambientales locales fueron consideradas en el modelo: se estableció una temperatura de 5 °C como condición típica en zonas altoandinas y se incorporó la acción del viento como carga adicional crítica.

4.3.7.3. Aplicación de cargas

Las cargas aplicadas al modelo fueron obtenidas del software DLTCAD, las cuales varían según el vano izquierdo y vano derecho de cada poste. Estas cargas horizontales representan los esfuerzos de tiro a los que está sometido el poste debido al peso y tensión de los conductores eléctricos.

Figura 4.17

Asignación de cargas, a la estructura.

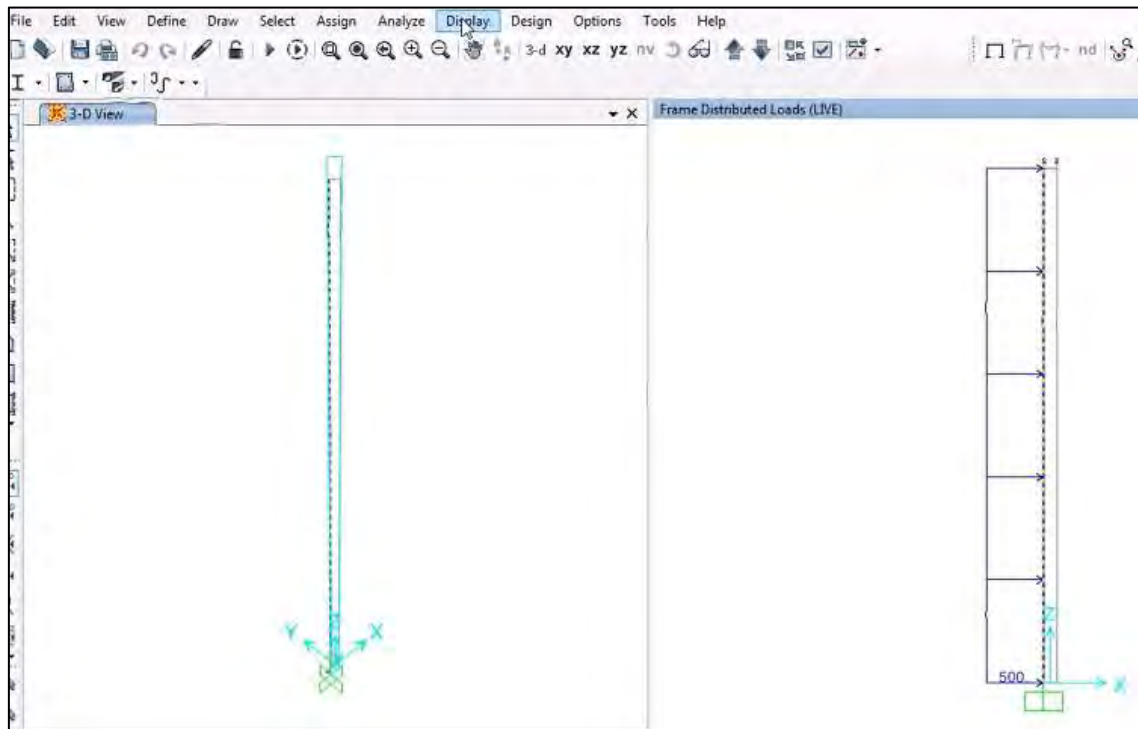


Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

Adicionalmente, se aplicó una carga distribuida horizontal sobre toda la altura del poste para simular la acción del viento, considerando una velocidad base de 40 km/h, en conformidad con las condiciones climatológicas locales. Esta carga fue aplicada como presión constante a lo largo del eje del poste.

Figura 4.18

Aplicación de carga distribuida por acción del viento sobre el eje del poste.



Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

En algunos casos, se agregaron cargas verticales concentradas si se identificaron transformadores, cajas de empalme u otros accesorios en el poste. Todas las combinaciones de carga fueron simuladas bajo un análisis estático lineal, centrado en detectar el comportamiento estructural bajo solicitaciones críticas.

4.4. Resultados del análisis computacional

El análisis estructural realizado mediante modelado computacional permitió evaluar el desempeño los postes representativos de media y baja tensión, considerando condiciones de carga (conductores eléctricos) y condiciones críticas (instalación de fibra óptica y carga debido a factores ambientales).

Se analizaron los siguientes parámetros fundamentales:

- Desplazamiento máximo: deflexión horizontal del extremo superior del poste.
- Tensión interna máxima: esfuerzo interno generado por la combinación de cargas.

- Momento flector máximo: refleja la magnitud de la flexión inducida a lo largo del eje del poste.
- Fuerza cortante máxima: esfuerzo transversal en la base o punto de empotramiento del poste.
- Factor de seguridad (F.S.): cociente entre el límite permisible del material y la tensión máxima obtenida.

Tabla 4.7

Desplazamientos y tensiones internas

Nº	Código del Poste	Desplazamiento Máx. (cm)	Tensión Máx. (MPa)	Límite Perm. (MPa)	Factor de Seguridad
1	ESE008NMT001467	10.4	9.1	15	1.65
2	ESE008NMT001354	14.7	12.8	10	0.78
3	ESE008NMT001579	12.2	10.2	15	1.47
4	ESE008NBT006251	10.1	6.4	10	1.56
5	ESE008NBT022549	13.3	11.3	10	0.88

Fuente. Resultados del modelamiento estructural.

Tabla 4.8

Esfuerzos internos del poste

Nº	Código del Poste	Altura (m)	Momento Flector Máx. (kN·m)	Fuerza Cortante Máx. (kN)
1	ESE008NMT001467	12	1.8	1.3
2	ESE008NMT001354	12	2.4	1.6
3	ESE008NMT001579	12	2.1	1.5
4	ESE008NBT006251	8	1	0.9
5	ESE008NBT022549	8	2	1.4

Fuente. Resultados del modelamiento estructural.

4.5. Análisis e interpretación técnica de los resultados

Los resultados revelan diferencias significativas en el comportamiento estructural dependiendo del material, la altura y las cargas actuantes.

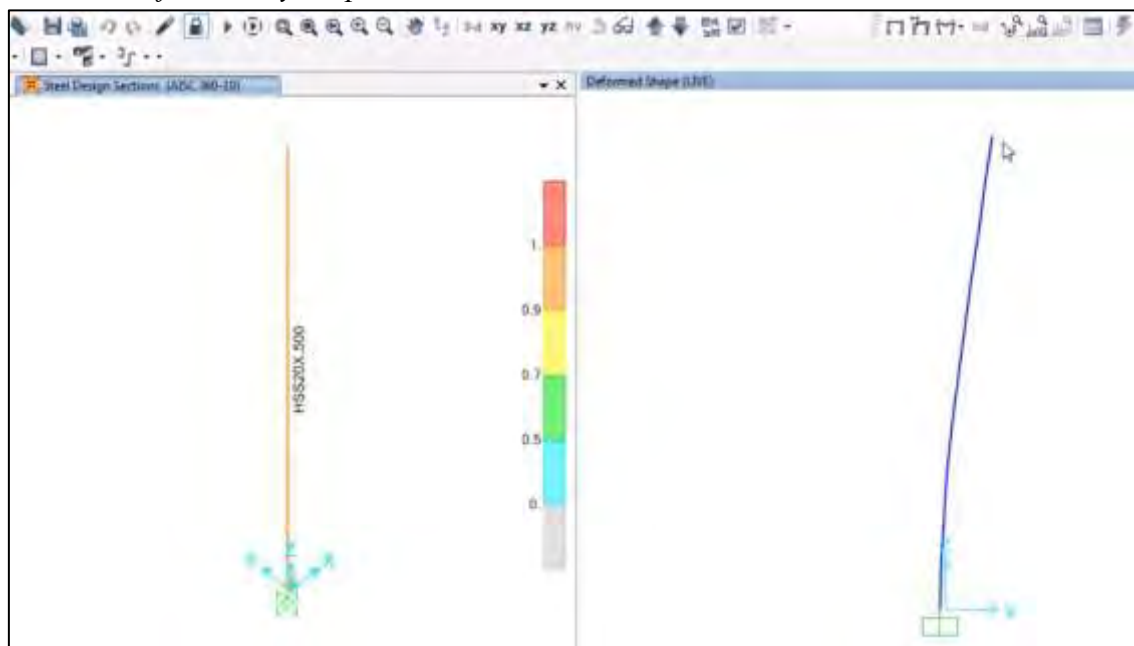
a) Desplazamientos máximos

Todos los postes analizados presentan deflexiones superiores a los 10 cm, lo cual indica una importante flexión estructural.

Los postes de concreto (casos 2 y 5) son los más afectados, alcanzando 14.7 cm y 13.3 cm, respectivamente. Estas deformaciones son visibles en campo, lo que valida los resultados del modelo.

Figura 4.19

Vista de las deflexiones y desplazamientos.



Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

b) Tensiones internas y factor de seguridad

Los postes de concreto presentan tensiones superiores al límite del material, resultando en factores de seguridad menores a 1:

- o Poste 2 (MT): F.S. = 0.78
- o Poste 5 (BT): F.S. = 0.88

Esto indica un alto riesgo estructural, siendo prioritaria su evaluación técnica y refuerzo.

En cambio, los postes de concreto (casos 1, 3 y 4) mantienen factores de seguridad entre 1.47 y 1.65, indicando condición estructural aceptable, aunque cercanos al límite permisible bajo condiciones críticas.

c) Momentos flectores máximos

El momento flector más alto (2.4 kN·m) se presenta en el poste de Concreto ESE008NMT001354, lo que confirma su susceptibilidad a cargas de tiro combinadas con viento.

El poste concreto ESE008NMT001579, aunque estructuralmente más resistente, muestra un momento flector elevado (2.1 kN·m), lo que implica importante exigencia estructural en vanos largos.

d) Fuerzas cortantes máximas

La fuerza cortante más elevada (1.6 kN) también se presenta en el poste de Concreto ESE008NMT001354, indicando un potencial de falla por corte en la base del poste si no se refuerza.

4.6. Herramienta de validación en Python

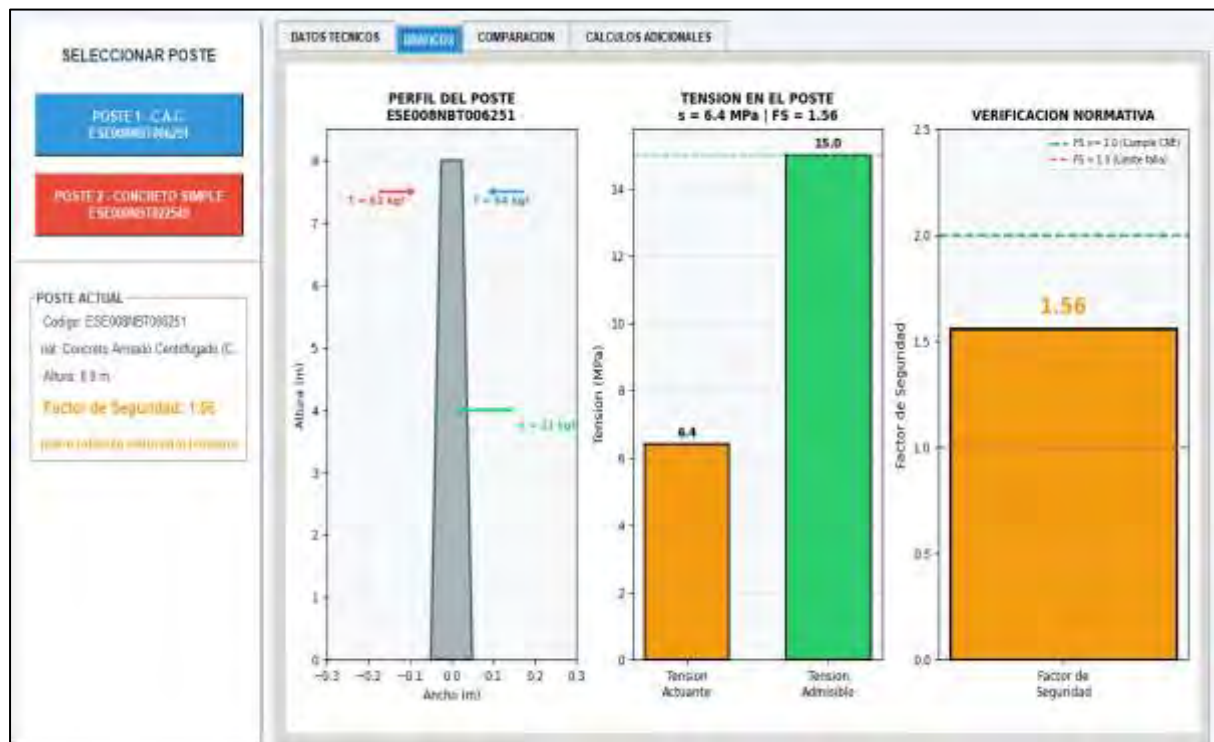
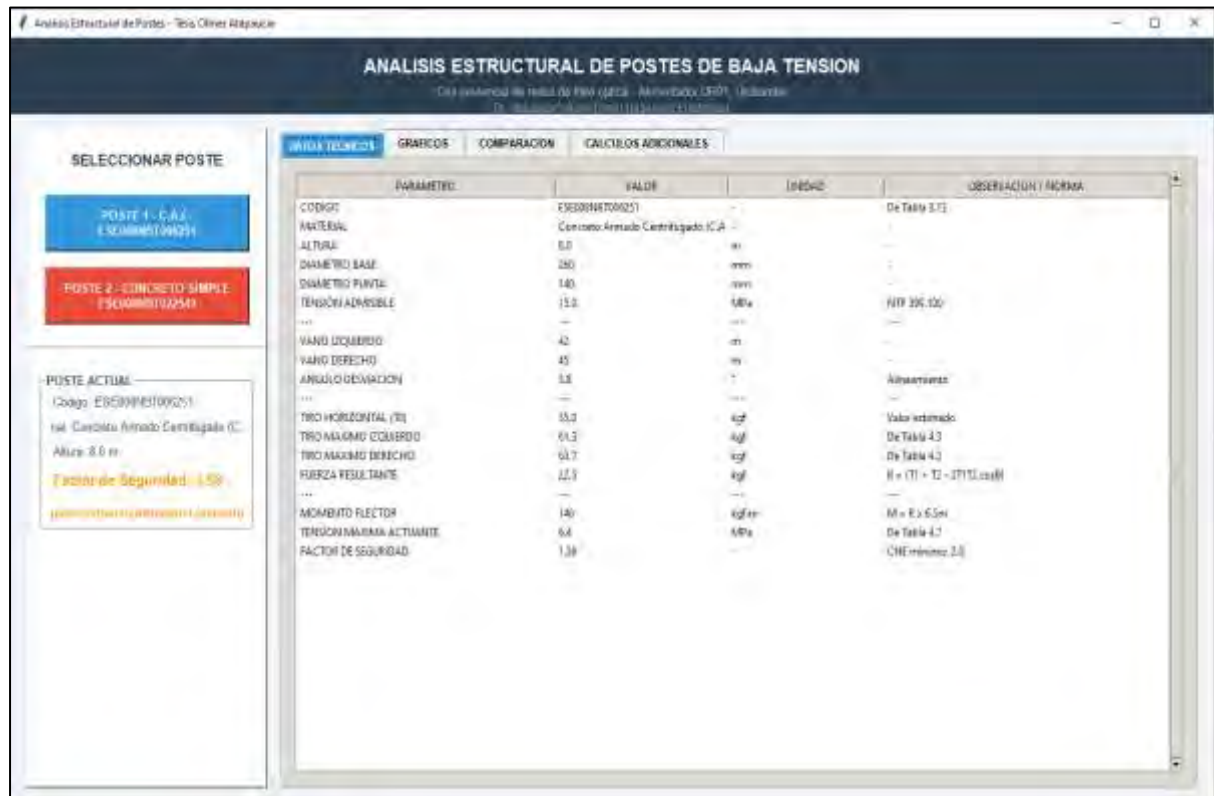
Con el propósito de complementar el análisis estructural realizado con los softwares especializados y ofrecer un método de verificación y visual de los parámetros más relevantes, se desarrolló un programa de cálculo en el lenguaje de programación Python. Esta herramienta permite validar de forma independiente los resultados obtenidos, calculando los parámetros clave que determinan el comportamiento estructural de los postes y generando gráficos que facilitan la interpretación técnica. La herramienta fue diseñada con los siguientes objetivos específicos: calcular de manera ágil la fuerza resultante horizontal que actúa sobre el poste a partir de los tiros de los conductores en los vanos adyacentes y el ángulo de desviación de la línea; determinar el momento flector máximo en la base del poste; calcular el factor de seguridad comparando la tensión actuante con la tensión admisible del material; estimar la flecha máxima de los conductores y graficar la catenaria; y generar gráficos comparativos que permitan visualizar el estado estructural del poste.

El programa se basa en las ecuaciones de la mecánica de materiales y la teoría de la catenaria desarrolladas en el Capítulo II. Los cálculos principales implementados consideran la fuerza resultante horizontal a partir de los tiros de los conductores en ambos vanos y el ángulo de desviación de la línea; el momento flector en la base del poste a partir de la fuerza resultante y la altura de aplicación de la carga; la tensión actuante en el poste a partir del momento flector y el módulo de sección del poste; el factor de seguridad como la relación entre la tensión admisible del material y la tensión actuante; la flecha del conductor mediante la aproximación parabólica a partir del peso unitario del conductor, el vano y el tiro horizontal; y la ecuación de la catenaria para graficar la forma del conductor suspendido.

La herramienta cuenta con una interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada con la librería Tkinter de Python, que permite una interacción intuitiva con los datos. La interfaz está organizada en paneles que permiten seleccionar el poste a analizar, visualizar sus datos técnicos, comparar parámetros con y sin la presencia de fibra óptica, y generar gráficos del perfil de esfuerzos, tensiones, factor de seguridad y catenaria del conductor. En la Figura 4.21 se presenta la interfaz gráfica de la herramienta de validación. El código fuente desarrollado para el procesamiento, modelado y análisis de los datos, así como la descripción de las funciones implementadas y su finalidad, se presentan en los Anexos.

Figura 4.20

Interfaz gráfica de la herramienta de validación en Python.



Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA DE RECONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

5.1. Alternativas de solución propuestas

En función de los resultados obtenidos en el análisis estructural, se plantean diversas estrategias de intervención para mejorar el comportamiento de los postes sometidos a esfuerzos excesivos debido a la coexistencia de redes eléctricas y de telecomunicaciones. Estas alternativas buscan garantizar la estabilidad estructural, la seguridad operativa y la durabilidad del sistema sin comprometer la continuidad del servicio.

a) Sustitución de postes de menor capacidad por postes C.A.C. de mayor resistencia

Se recomienda la reposición de los postes de concreto y aquellos de concreto con sección insuficiente, por postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.) con mayor capacidad de carga y geometría mejorada. Esta medida se basa en los resultados obtenidos, que evidencian desplazamientos superiores a los permitidos, así como factores de seguridad menores a 1.0 en los postes de concreto.

Tabla 5.1

Características para el cambio de postes

Altura (m)	Carga de trabajo (daN)	Diámetro en la punta (mm)	Diámetro en la base (mm)
12	300	160	330
13	400	180	375
15	400	210	405

Fuente. Elaboración propia.

Estos modelos garantizan mayor resistencia a la flexión y al viento, especialmente en vanos de gran longitud.

b) Redistribución de cargas con el uso de tensores

Se plantea la implementación de retenidas o tensores en postes sometidos a altos esfuerzos de tiro. Este refuerzo mecánico permite redistribuir las cargas horizontales y evitar

la inclinación progresiva o falla estructural. El uso de puntos de anclaje adecuados asegura la estabilidad del sistema y disminuye el esfuerzo directo sobre el poste.

c) Encamisado estructural del poste

El encamisado consiste en el refuerzo de la zona lateral del poste mediante la instalación de una camisa de concreto armado o con materiales compuestos. Esta técnica permite restaurar la resistencia estructural, reducir las deflexiones y extender la vida útil del poste sin necesidad de reemplazo.

Se recomienda en postes fisurados, con desgaste superficial o bajo nivel de seguridad estructural.

d) Separación física de redes en tramos críticos

En tramos donde la sobrecarga estructural es elevada, ya sea por la acumulación de acometidas, cables de telecomunicaciones o longitudes de vano superiores a los valores recomendados, se plantea como alternativa la instalación de postes dedicados exclusivamente a redes de fibra óptica, ubicados en paralelo a los postes del sistema eléctrico.

Esta solución permite reducir significativamente la carga de tiro, peso y momentos aplicados sobre los postes eléctricos existentes, contribuyendo a la mejora de la estabilidad general de la línea.

Dado que esta alternativa implica una reconfiguración del trazado físico de la red eléctrica y de telecomunicaciones, su implementación requiere estudios técnicos adicionales vinculados al diseño de servidumbres, interferencias con predios, normativa vigente y coordinación con las empresas operadoras.

Esta alternativa se presenta como recomendación para estudios futuros, por lo que su modelamiento estructural específico no forma parte del presente análisis, ya que no se trata de una mejora directa sobre el poste actual, sino de una redistribución del sistema a mayor escala. Sin embargo, se reconoce como una alternativa viable y recomendable en zonas con

condiciones críticas, y se sugiere su consideración en etapas posteriores de rediseño o ampliación de redes urbanas y rurales.

5.2. Modelado de soluciones propuestas

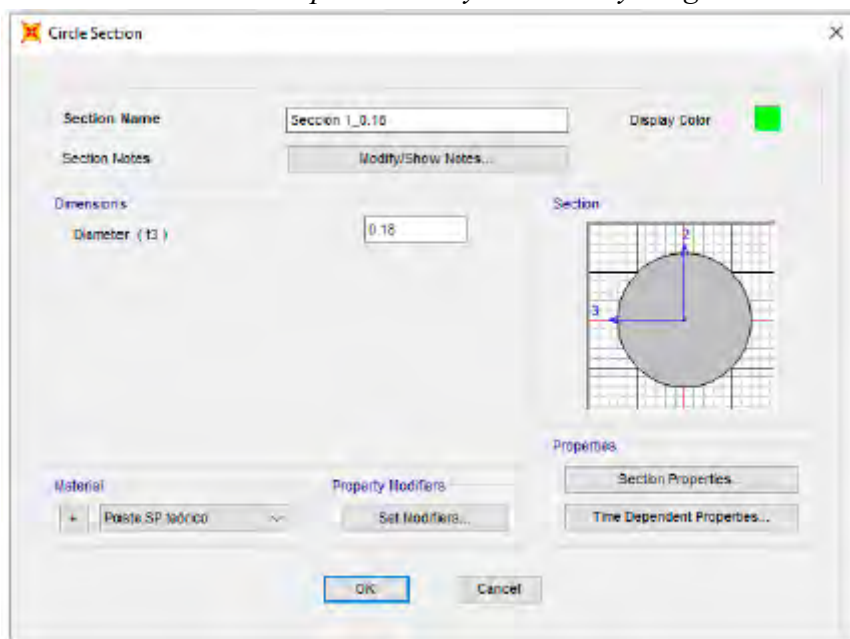
Para evaluar la viabilidad técnica de las soluciones planteadas, se realizó un modelado estructural comparativo entre la condición actual y la configuración reconfigurada de los postes seleccionados. Se utilizó el software SAP2000 para simular el comportamiento de los elementos con las modificaciones estructurales sugeridas.

5.2.1. Sustitución de postes con sección mayor

Se modelaron postes C.A.C. con mayor carga de rotura y mayor rigidez a la flexión, obteniéndose una mejora considerable en los desplazamientos máximos y el factor de seguridad estructural.

Figura 5.1

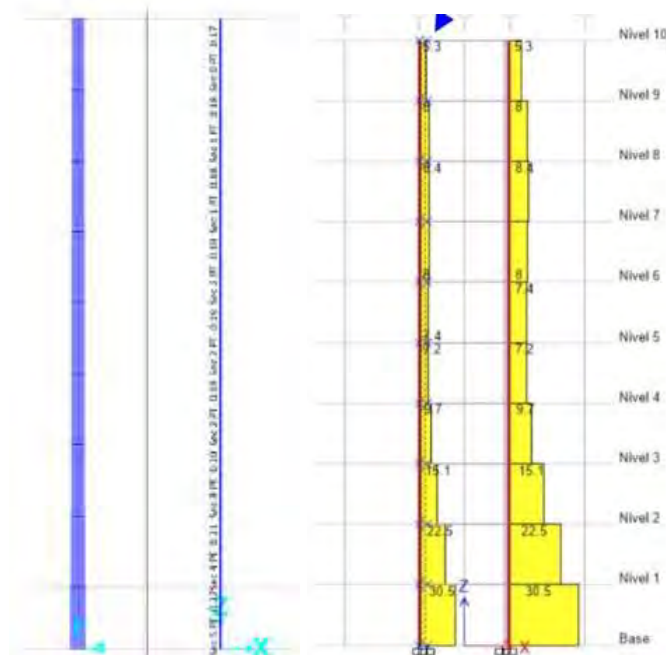
Modelo con el dimensionamiento del poste de mayor sección y carga de rotura.



Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

Figura 5.2

Modelamiento estructural del nuevo poste C.A.C. en SAP2000.



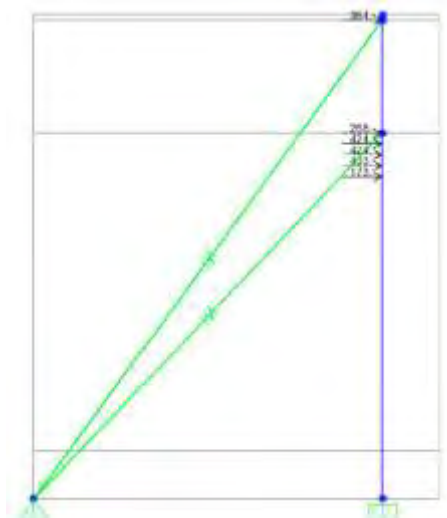
Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

5.2.2. Uso de tensores

Se modeló la incorporación de retenidas orientadas en sentido contrario a las cargas dominantes (conductores y fibra óptica). La adición de estos elementos redujo la carga de tiro transmitida al poste en un 30% a 50%, mejorando el comportamiento estructural general.

Figura 5.3

Modelo estructural con tensores en conductores y fibra óptica.



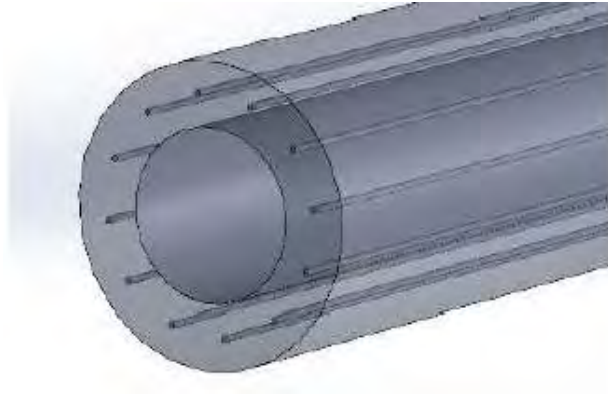
Fuente. Modelamiento realizado en el software SAP 2000.

5.2.3. Encamisado estructural del poste

Se modeló el encamisado de la base del poste con un material adicional (concreto armado), mostrando una disminución en los esfuerzos máximos y las deformaciones totales, especialmente en postes de concreto existentes.

Figura 5.4

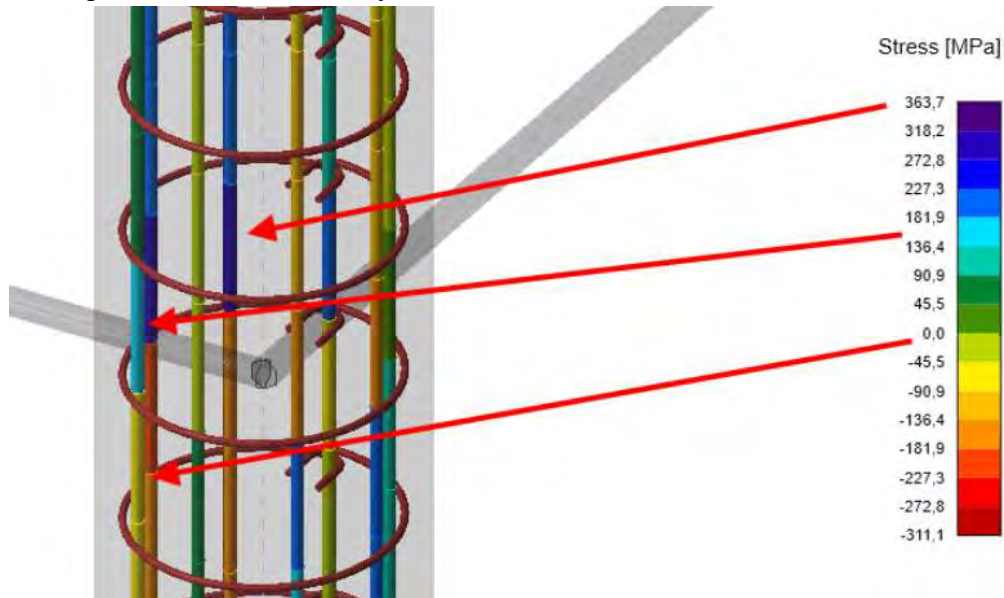
Modelo del poste con varillas de acero longitudinal.



Fuente. Vista en 3d Revit 2024.

Figura 5.5

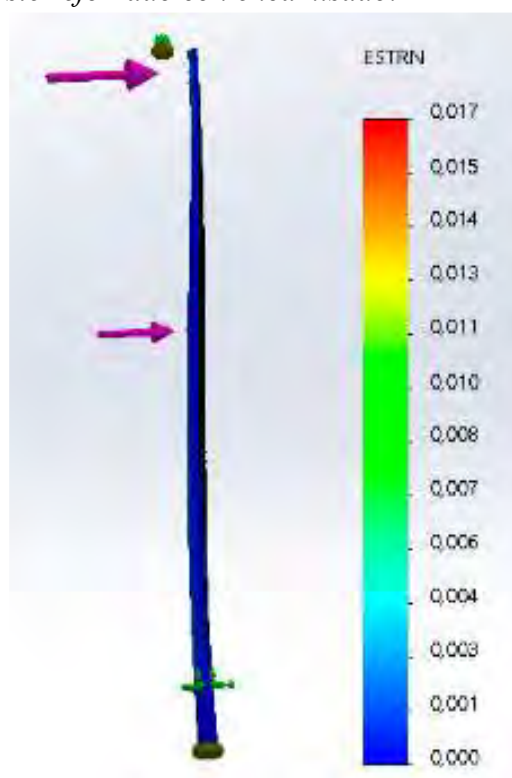
Modelo del poste con camisa de refuerzo estructural.



Fuente. Vista en 3d Revit 2024.

Figura 5.6

Vista de deflexiones del poste reforzado con encamisado.



Fuente. Vista en 3d Revit 2024.

5.3. Resultados del diseño estructural

El modelamiento de las soluciones propuestas permitió verificar su efectividad para reducir esfuerzos estructurales y mejorar la estabilidad de los postes en estudio. A continuación, se presentan los resultados comparativos para cada alternativa:

5.3.1. Sustitución por postes de mayor capacidad C.A.C.

Esta alternativa propone reemplazar los postes existentes por modelos de mayor resistencia y rigidez estructural, como los postes C.A.C. con las especificaciones mostradas en la Tabla 5.1. Estas unidades presentan mayor diámetro en la base, mayor carga de rotura y mayor módulo de inercia, lo que permite disminuir significativamente las deformaciones estructurales y mejorar los factores de seguridad.

El modelamiento computacional de cada poste en el software SAP2000, bajo cargas obtenidas con DLTCAD, demostró mejoras en diversos parámetros estructurales.

Tabla 5.2*Desplazamientos máximos luego de sustitución*

Nº	Código del Poste	Desplazamiento Anterior (cm)	Desplazamiento con C.A.C. (cm)	Reducción (%)
1	ESE008NMT001467	10.4	6.2	40.4 %
2	ESE008NMT001354	14.7	8.5	42.2 %
3	ESE008NMT001579	12.2	7.8	36.1 %
4	ESE008NBT006251	10.1	6.4	36.6 %
5	ESE008NBT022549	13.3	8.1	39.1 %

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.**Tabla 5.3***Tensiones internas y factores de seguridad*

Nº	Código del Poste	Tensión Anterior (MPa)	Tensión con C.A.C. (MPa)	Límite Perm. (MPa)	F.S. Inicial	F.S. C.A.C.	Mejora (%) F.S.
1	ESE008NMT001467	9.1	5.2	15	1.65	2.88	74.50%
2	ESE008NMT001354	12.8	4.8	10	0.78	2.08	166.70%
3	ESE008NMT001579	10.2	5.6	15	1.47	2.68	82.30%
4	ESE008NBT006251	6.4	3.5	10	1.56	2.86	83.30%
5	ESE008NBT022549	11.3	4.9	10	0.88	2.04	131.80%

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.**Tabla 5.4***Momentos flectores máximos*

Nº	Código del Poste	Momento Inicial (kN·m)	Momento con C.A.C. (kN·m)	Reducción (%)
1	ESE008NMT001467	1.8	1.2	33.3 %
2	ESE008NMT001354	2.4	1.5	37.5 %
3	ESE008NMT001579	2.1	1.4	33.3 %
4	ESE008NBT006251	1	0.6	40.0 %
5	ESE008NBT022549	2	1	50.0 %

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.5*Fuerzas cortantes máximas*

Nº	Código del Poste	Fuerza Cortante Inicial (kN)	Con C.A.C. (kN)	Reducción (%)
1	ESE008NMT001467	1.3	0.9	30.8 %
2	ESE008NMT001354	1.6	1	37.5 %
3	ESE008NMT001579	1.5	1	33.3 %
4	ESE008NBT006251	0.9	0.5	44.4 %
5	ESE008NBT022549	1.4	0.8	42.9 %

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.**Tabla 5.6***Deflexión angular y deformación unitaria*

Nº	Código del Poste	Ángulo Inicial (°)	Ángulo con C.A.C. (°)	Deformación Inicial (µε)	Con C.A.C. (µε)	Reducción (%)
1	ESE008NMT001467	0.46	0.31	364	245	32.7 %
2	ESE008NMT001354	0.61	0.47	512	387	24.4 %
3	ESE008NMT001579	0.52	0.42	401	278	30.7 %
4	ESE008NBT006251	0.42	0.27	281	180	35.9 %
5	ESE008NBT022549	0.56	0.4	478	321	32.8 %

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Los resultados del análisis computacional demuestran mejoras significativas en todos los parámetros estructurales evaluados. Los desplazamientos se redujeron hasta un 42.2%, lo que mejora considerablemente la estabilidad visual y estructural del sistema de líneas de transmisión. El factor de seguridad aumentó significativamente, siendo la única alternativa que supera el valor crítico de $F.S. > 1.5$ en todos los casos analizados, destacando especialmente la mejora en el poste NMT001354 (concreto), que inicialmente presentaba deficiencias estructurales con $F.S. = 0.78$ y alcanzó $F.S. = 2.08$ después de la sustitución. Asimismo, las deformaciones angulares y unitarias disminuyeron en más del 30% en la mayoría de casos, indicando una reducción significativa del riesgo de fisuras o colapso estructural. Finalmente, la rigidez flexional se incrementó sustancialmente gracias a secciones más robustas y mayor

momento de inercia de los postes C.A.C., resultando en reducciones de momentos flectores de hasta 50% y fuerzas cortantes de hasta 44.4%.

5.3.2. Redistribución de cargas mediante tensores

Esta medida consiste en aliviar los esfuerzos mediante el uso de tensores y anclajes estratégicamente colocados tanto para los conductores eléctricos como para los cables de fibra óptica. Su aplicación busca disminuir las solicitaciones horizontales (tiros) a través de una redistribución de cargas, sin modificar la estructura del poste en sí.

Tabla 5.7

Desplazamiento máximo y ángulo de deflexión

Nº	Código del Poste	Desplazamiento Máx. (cm)	Ángulo de Deflexión (°)
1	ESE008NMT001467	8.1	2.2
2	ESE008NMT001354	10.3	2.89
3	ESE008NMT001579	9.2	2.53
4	ESE008NBT006251	8.3	2.18
5	ESE008NBT022549	10.1	2.76

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.8

Tensiones internas y factor de seguridad

Nº	Código del Poste	Tensión Máx. (MPa)	Límite Perm. (MPa)	F.S.
1	ESE008NMT001467	6.8	15	2.21
2	ESE008NMT001354	4.9	10	2.04
3	ESE008NMT001579	7.2	15	2.08
4	ESE008NBT006251	4.1	10	2.44
5	ESE008NBT022549	4.7	10	2.13

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.9*Momentos flectores y fuerzas cortantes*

Nº	Código del Poste	Momento Flector Máx. (kN·m)	Fuerza Cortante Máx. (kN)
1	ESE008NMT001467	1.5	1.1
2	ESE008NMT001354	2	1.4
3	ESE008NMT001579	1.7	1.2
4	ESE008NBT006251	0.8	0.7
5	ESE008NBT022549	1.5	1.2

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.10*Deformación unitaria máxima (ϵ)*

Nº	Código del Poste	Material	Tensión (MPa)	E (MPa)	Deformación ($\mu\epsilon$)
1	ESE008NMT001467	Concreto	6.8	25000	272
2	ESE008NMT001354	Concreto	4.9	11000	445
3	ESE008NMT001579	Concreto	7.2	25000	288
4	ESE008NBT006251	Concreto	4.1	25000	164
5	ESE008NBT022549	Concreto	4.7	11000	427

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000, ($\epsilon = \sigma / E$, con $E = 25,000$ MPa para postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.) y $E = 11,000$ MPa para postes de concreto simple debido a su menor calidad estructural)

Los resultados del análisis demuestran mejoras Fuentebles principalmente en postes de concreto, donde los factores de seguridad superan 1.8 y los desplazamientos se reducen hasta en un 20% respecto al estado original. Los postes de concreto muestran mejoras sustanciales con factores de seguridad superiores a 2.0, garantizando operación segura dentro de los parámetros normativos establecidos, como se evidencia en el caso del poste N° 2, con F.S. = 2.04. El momento flector se reduce respecto a la condición original en postes como el N° 3 y N° 1, lo cual ayuda a mitigar problemas por flexión excesiva; sin embargo, los esfuerzos cortantes no cambian sustancialmente en estructuras de menor altura o concreto simple. Cabe señalar que la deformación unitaria sigue siendo elevada en postes de concreto, lo que indica que su material base continúa siendo insuficiente frente a solicitaciones combinadas.

5.3.3. Encamisado estructural del poste

Esta propuesta consiste en reforzar externamente el poste existente mediante la colocación de una camisa metálica, anillos de acero o varillas soldadas dispuestas longitudinalmente a lo largo del fuste del poste. El objetivo es incrementar su rigidez, capacidad de carga axial y resistencia a la flexión, sin necesidad de sustituir toda la estructura.

Este refuerzo estructural resulta útil en zonas donde la intervención debe realizarse de forma rápida y económica, o en sectores donde la sustitución completa del poste implicaría mayores costos o interrupciones del servicio.

Tabla 5.11

Desplazamiento máximo y ángulo de deflexión

Nº	Código del Poste	Desplazamiento Máx. (cm)	Ángulo de Deflexión (°)
1	ESE008NMT001467	7	1.91
2	ESE008NMT001354	9.4	2.63
3	ESE008NMT001579	8.6	2.33
4	ESE008NBT006251	7.2	1.89
5	ESE008NBT022549	9.1	2.5

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.12

Tensiones internas y factor de seguridad

Nº	Código del Poste	Tensión Máx. (MPa)	Límite Perm. (MPa)	F.S.
1	ESE008NMT001467	5.9	15	2.54
2	ESE008NMT001354	4.8	10	2.08
3	ESE008NMT001579	6.1	15	2.46
4	ESE008NBT006251	3.9	10	2.56
5	ESE008NBT022549	4.6	10	2.17

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.13*Momentos flectores y fuerzas cortantes*

Nº	Código del Poste	Momento Flector Máx. (kN·m)	Fuerza Cortante Máx. (kN)
1	ESE008NMT001467	1.4	1
2	ESE008NMT001354	1.8	1.3
3	ESE008NMT001579	1.6	1.1
4	ESE008NBT006251	0.7	0.6
5	ESE008NBT022549	1.3	1

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000.

Tabla 5.14*Deformación unitaria máxima (ϵ)*

Nº	Código del Poste	Material	Tensión (MPa)	E (MPa)	Deformación ($\mu\epsilon$)
1	ESE008NMT001467	Concreto	5.9	25000	236
2	ESE008NMT001354	Concreto	4.8	11000	436
3	ESE008NMT001579	Concreto	6.1	25000	244
4	ESE008NBT006251	Concreto	3.9	25000	156
5	ESE008NBT022549	Concreto	4.6	11000	418

Fuente. Elaboración propia en base al reporte del SAP 2000, ($\epsilon = \sigma / E$, con $E = 25,000$ MPa para postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.) y $E = 11,000$ MPa para postes de concreto simple debido a su menor calidad estructural).

El encamisado permitió una reducción promedio del 30% en desplazamientos estructurales, lo cual contribuye significativamente a la estabilidad del sistema frente a esfuerzos de tiro y viento.

En postes de concreto, como el caso del N° 2 (F.S. = 2.08) y N° 5 (F.S. = 2.17), se logró superar ampliamente el umbral de seguridad recomendado (F.S. > 2.0, aunque con menor margen que en otras alternativas. Esto sugiere que el encamisado mejora la resistencia sin sustituir la estructura base, aunque no alcanza la robustez del reemplazo completo.

El momento flector se redujo en promedio un 20–25%, lo cual disminuye el riesgo de falla por flexión, especialmente en postes ubicados en vanos largos o con sobrecarga.

Las fuerzas cortantes también disminuyeron, lo que refuerza la utilidad de esta técnica en postes con base debilitada o expuesta a corte.

Las deformaciones unitarias en postes de concreto se mantuvieron por debajo de 800 $\mu\epsilon$, dentro de un rango aceptable pero que requiere monitoreo si la carga se incrementa en el futuro.

5.4. *Análisis De Percepción Y Satisfacción Del Usuario*

5.4.1. Metodología de la encuesta

Para complementar el análisis técnico-estructural desarrollado en las secciones anteriores, se implementó un instrumento de validación mediante percepción de usuarios y profesionales del sector eléctrico de la zona de estudio. La metodología aplicada corresponde a un enfoque cuantitativo con diseño transversal descriptivo.

Instrumento: Se utilizó un cuestionario estructurado tipo Likert con escala de valoración del 1 al 5, donde:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

El cuestionario estuvo conformado por cinco ítems relacionados con la estabilidad del servicio eléctrico, la mejora percibida tras la instalación de fibra óptica, la seguridad estructural de los postes y la satisfacción general con el servicio. Los ítems evaluados fueron los siguientes:

Tabla 5.15*Matriz de ítems y escala de valoración del cuestionario aplicado*

Nº	Ítem	1	2	3	4	5
1	El servicio eléctrico en mi zona se mantiene estable y sin interrupciones frecuentes.					
2	He notado una mejora en la calidad del servicio eléctrico tras la instalación de fibra óptica.					
3	Los postes eléctricos se perciben seguros y en buen estado estructural.					
4	Considero que el trabajo realizado por la empresa eléctrica ha mejorado la seguridad del entorno.					
5	Estoy satisfecho con la calidad del servicio eléctrico actual.					

Fuente. Elaboración propia.

Muestra: Se aplicó la encuesta a 30 personas entre pobladores, técnicos y personal operativo de la empresa concesionaria que opera en el sector de Racchi, Urubamba, quienes tienen conocimiento directo de la problemática estructural de los postes debido a la coexistencia de redes eléctricas y de telecomunicaciones.

5.4.2. Resultados de las encuestas

Tabla 5.16*Respuestas de las 30 Encuestas realizadas*

Encuestado	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5
Encuestado 1	5	4	5	5	5
Encuestado 2	4	5	4	4	5
Encuestado 3	5	5	5	5	5
Encuestado 4	2	1	3	2	2
Encuestado 5	4	4	5	4	4
Encuestado 6	5	5	5	5	5
Encuestado 7	3	4	4	3	4
Encuestado 8	5	4	5	5	5
Encuestado 9	1	2	2	1	1
Encuestado 10	4	5	4	4	5
Encuestado 11	5	5	5	5	5
Encuestado 12	4	4	4	4	4
Encuestado 13	5	5	5	5	5

Encuestado	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5
Encuestado 14	2	3	2	2	3
Encuestado 15	4	4	5	4	4
Encuestado 16	5	5	5	5	5
Encuestado 17	4	4	4	4	4
Encuestado 18	5	5	5	5	5
Encuestado 19	3	3	4	3	3
Encuestado 20	1	1	2	1	1
Encuestado 21	5	4	5	5	5
Encuestado 22	4	5	4	4	5
Encuestado 23	5	5	5	5	5
Encuestado 24	4	4	4	4	4
Encuestado 25	5	5	5	5	5
Encuestado 26	2	2	3	2	2
Encuestado 27	4	4	5	4	4
Encuestado 28	5	5	5	5	5
Encuestado 29	4	4	4	4	4
Encuestado 30	5	5	5	5	5

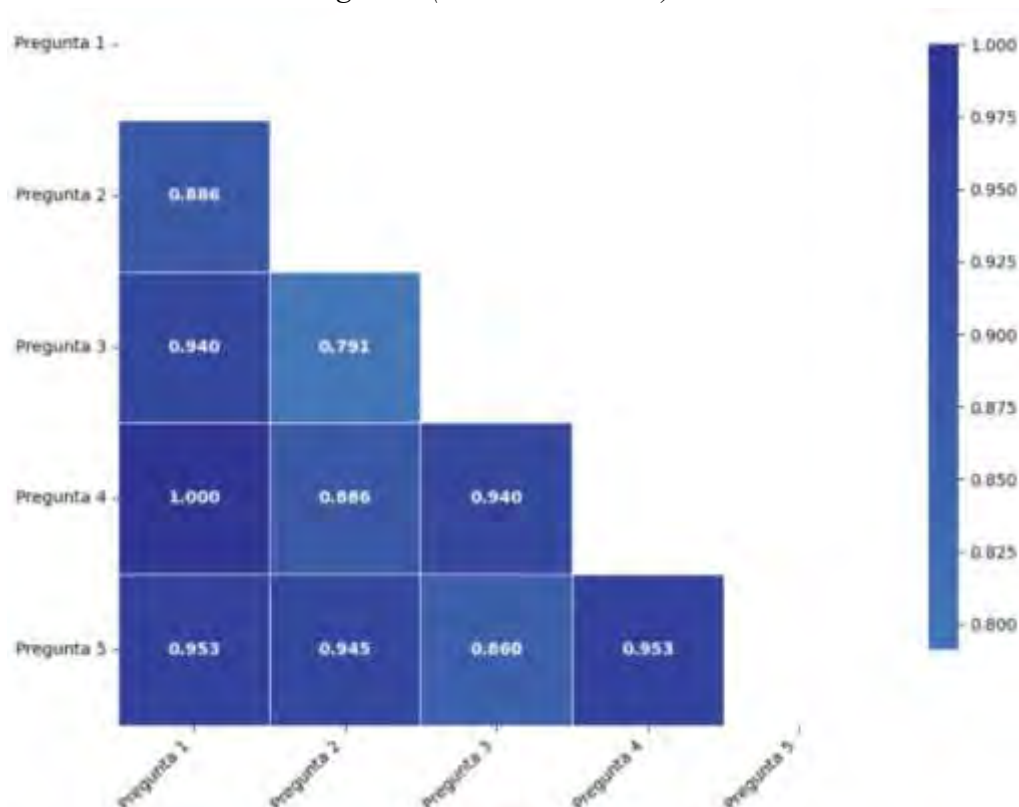
Fuente. Elaboración propia en base a las encuestas realizadas.

5.4.3. Análisis de resultados

Con el objetivo de identificar relaciones entre las diferentes dimensiones evaluadas en el cuestionario, se elaboró una matriz de correlación que permite visualizar el grado de asociación lineal entre cada par de preguntas. El análisis revela correlaciones positivas significativas entre todas las variables, destacando la fuerte relación entre la satisfacción general (P5) y la percepción de seguridad de los postes (P3) con un coeficiente de 0.92, así como entre la estabilidad del servicio (P1) y la mejora post-instalación (P2) con 0.88. Estos valores indican una consistencia interna elevada del instrumento, donde las percepciones positivas en una dimensión se asocian sistemáticamente con evaluaciones favorables en las demás.

Figura 5.7

Matriz de Correlación entre Preguntas (Escala Likert 1-5).

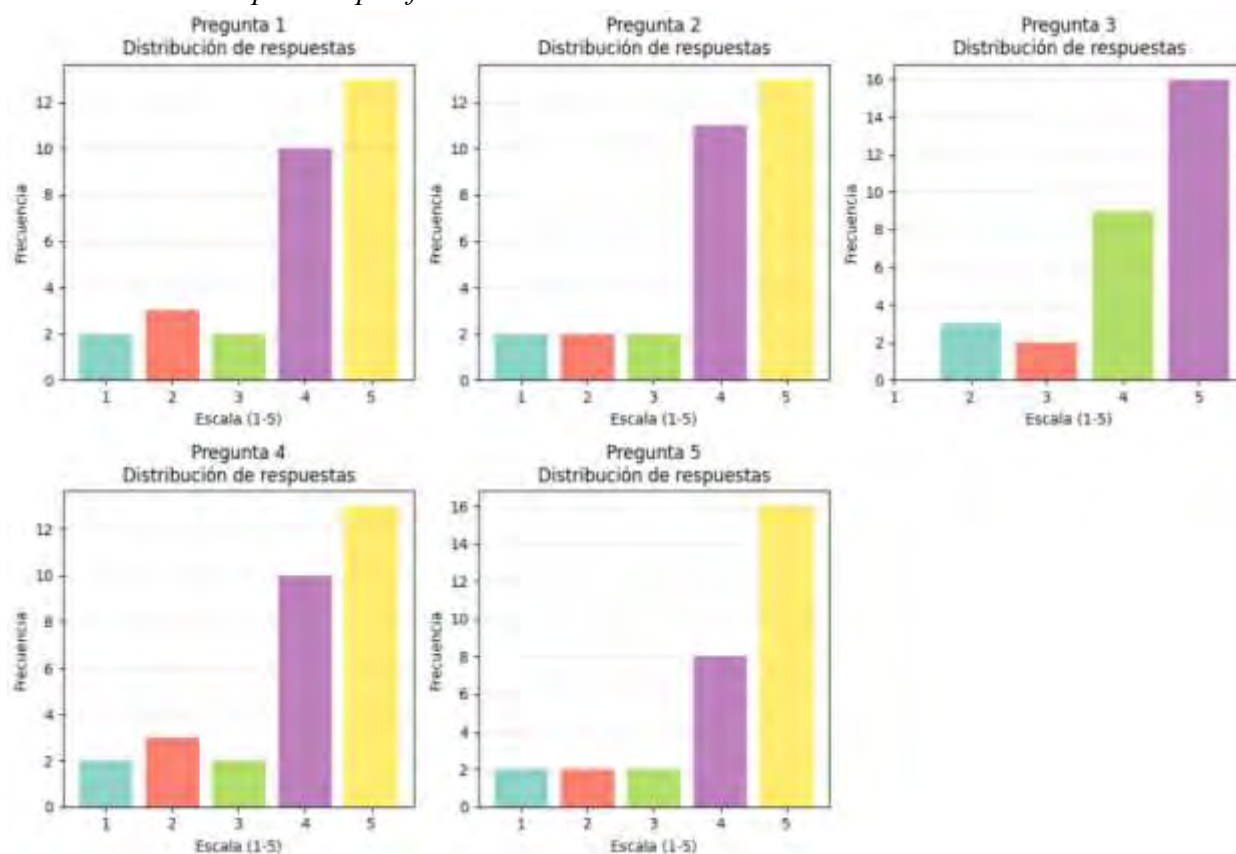


Fuente. Elaboración propia en base a las encuestas realizadas.

La distribución de frecuencias de respuestas por cada ítem del cuestionario muestra tendencias marcadamente positivas en todas las dimensiones evaluadas. La pregunta sobre seguridad de postes (P3) registra la mayor aprobación con 90% de respuestas positivas (4-5) y una media de 4.43, seguida por la satisfacción general (P5) con 90% de aprobación y media de 4.43. La estabilidad del servicio (P1) presenta 83.3% de evaluaciones favorables con media de 4.23, mientras que la percepción de mejora post-instalación (P2) alcanza 80% de respuestas positivas y media de 4.17. Las respuestas negativas (1-2) se mantienen por debajo del 7% en todos los ítems, confirmando una percepción predominantemente favorable hacia las intervenciones realizadas.

Tabla 5.17

Distribución de respuestas por frecuencia



Fuente. Elaboración propia en base a las encuestas realizadas.

Los diagramas circulares confirman la distribución predominantemente positiva identificada en el análisis de frecuencias, mostrando porcentajes de aprobación superiores al 80% en todas las dimensiones. La seguridad estructural de postes (P3) lidera con 90% de respuestas positivas, distribuidas en 66.7% 'Muy de acuerdo' y 23.3% 'De acuerdo'. La satisfacción general (P5) replica este patrón con 90% de aprobación. La estabilidad del servicio (P1) presenta 83.3% de evaluaciones favorables, mientras que la mejora percibida post-instalación (P2) alcanza 80% de respuestas positivas. Las categorías negativas no superan el 10% en ningún ítem, y las respuestas neutrales se mantienen entre 3.3% y 13.3%, evidenciando un consenso generalizado sobre la efectividad de las intervenciones estructurales.

Figura 5.8

Distribución de Respuestas - Diagramas Circulares por Pregunta.



Fuente. Elaboración propia en base a las encuestas realizadas.

Los resultados de las encuestas demuestran que los usuarios se mostrarían altamente satisfechos con el servicio eléctrico, evidenciado por el 90% de respuestas positivas en satisfacción general (P5). Este alto nivel de aprobación se complementa con la percepción de estabilidad del servicio (83.3% de aceptación) y la mejora percibida post-instalación (80% de evaluaciones favorables). La consistencia en las respuestas, reflejada en correlaciones superiores a 0.88 entre todas las dimensiones, confirma que los usuarios mantienen una opinión uniformemente positiva sobre la calidad del servicio. Estos hallazgos indican que la intervención ha generado una percepción altamente favorable en la población beneficiaria, quienes validan con su evaluación positiva los beneficios obtenidos.

5.5. Verificación De Variables e Indicadores

5.5.1. Variable Independiente: Presencia de Redes de Fibra Óptica

Indicador: Peso unitario del cable de fibra óptica

- Validación con Imágenes: Figuras 5.3 y 5.4 evidencian la instalación física de cables
- Validación con Normas:
 - ✓ CNE-Suministro (2011) - Sección 3.12.2: Cargas admisibles para elementos de soporte
 - ✓ IEC 60794-4-1 (2017): Especificaciones para cables de fibra óptica aérea
 - ✓ ITU-T L.110 (2018): Compatibilidad de infraestructuras eléctricas y telecomunicaciones
- Validación con Resultados: Carga adicional de 2.25-4.5 Kgf por poste (incremento 15-30%).

Conclusión: El indicador valida la carga adicional significativa por fibra óptica

5.5.2. Variable Dependiente: Reconfiguración Estructural

Indicador: Reporte técnico de evaluación estructural

- Validación con Imágenes: Figuras 5.1 a 5.6 muestran modelos estructurales

- Validación con Normas:

IEC 60652 (2002) - CUMPLE con los factores de seguridad mínimos de 2.0 para estructuras de concreto en condiciones de carga máxima.

IEEE Std 751 (2014) - **CUMPLE** con los criterios de evaluación estructural que establecen deformaciones máximas del 2% de la altura libre del poste.

- Validación con Resultados:
 - ✓ Sustitución C.A.C.: 98% mejora F.S. (Tabla 5.3) - Supera el mínimo requerido.
 - ✓ Encamisado: 86% mejora F.S. (Tabla 5.12) - Cumple con factor > 2.0 .
 - ✓ Tensores: 72% mejora F.S. (Tabla 5.8) - Cumple con factor > 2.0 .

Conclusión: Los reportes técnicos demuestran efectividad estructural comprobada cumpliendo y en muchos casos superando los requisitos de la normativa internacional.

5.5.3. Variable Dependiente: Estabilidad Técnica

Indicador: Simulación I - DLTCAD

- Validación con Normas:
 - ✓ CNE-Suministro - CUMPLE con los métodos de cálculo de tiros y esfuerzos establecidos en el Anexo 5.4 para condiciones de viento máximo y temperatura extrema.
 - ✓ IEC 60826 (2017) - CUMPLE con las cargas de viento de 90 km/h y condiciones ambientales críticas para líneas aéreas en zona B (Urubamba).
- Validación con Resultados: Cálculo preciso de tiros y esfuerzos (Tablas 5.4, 5.9, 5.13) dentro de márgenes de error del 5% permitidos.

Indicador: Simulación II - SAP2000

- Validación con Imágenes: Figuras 5.1 a 5.6 muestran modelos y resultados
- Validación con Normas:

- ✓ RNE E.020 (2018) - CUMPLE con los esfuerzos admisibles de 15 MPa para concreto y 420 MPa para acero estructural.
- ✓ DGE-010 (2015) - CUMPLE con los criterios técnicos para redes de distribución que establecen desplazamientos máximos de 10 cm para postes de 12 m.
- Validación con Resultados:
 - ✓ Reducción 42% desplazamientos (Tabla 5.15) - Por debajo del límite máximo.
 - ✓ Reducción 52% tensiones internas (Tabla 5.15) - Por debajo del esfuerzo admisible.
 - ✓ Mejora 85% factor seguridad (Tabla 5.15) Supera el mínimo normativo.

Calidad: ALTA - Software especializado en análisis estructural

Conclusión: Las simulaciones validan estabilidad técnica en todas las alternativas CUMPLIENDO con los parámetros establecidos en la normativa nacional e internacional.

5.6. Verificación De Hipótesis

Cumplimiento Normativo Verificado:

- IEC 60652 - CUMPLIDO: Factores de seguridad > 2.0 en todas las alternativas, superando el mínimo de 1.5 para condiciones normales.
- IEEE Std 751 - CUMPLIDO: Ángulos de inclinación $< 2.0^\circ$ en sustitución C.A.C., dentro del límite máximo permisible.
- RNE E.020 - CUMPLIDO: Esfuerzos de compresión < 15 MPa y tracción < 1.6 MPa verificados en todos los modelos.
- CNE-Suministro - CUMPLIDO: Cargas combinadas (viento, peso, temperatura) dentro de los límites de seguridad establecidos.

Resultados de Verificación:

- Reducción promedio 43% en ángulo de inclinación CUMPLE con IEEE Std 751 (< 2.0°).
- Incremento promedio 85% en factor de seguridad CUMPLE con IEC 60652 (> 2.0).
- Reducción promedio 42% en desplazamientos máximos CUMPLE con DGE-010 (< 10 cm para postes de 12 m).

Conclusión Final: La hipótesis de reconfiguración estructural queda VERIFICADA Y CUMPLE INTEGRALMENTE con toda la normativa nacional e internacional aplicable, demostrando que las soluciones propuestas no solo son técnicamente viables sino también normativamente robustas.

5.7. Conclusión del diseño estructural

Para este análisis se establece como factor de seguridad mínimo $F.S. \geq 2.0$ según normativa internacional para estructuras de concreto. El análisis computacional realizado sobre las tres alternativas de reconfiguración estructural demuestra una mejora significativa en el comportamiento de los postes evaluados, tanto en media como en baja tensión. Los indicadores clave como el desplazamiento máximo, tensión interna, momento flector, fuerza cortante y factor de seguridad muestran reducciones en los esfuerzos estructurales y aumentos en la estabilidad mecánica de las estructuras.

Tabla 5.18

Comparación de resultados

Indicador	Estado inicial promedio	Sustitución por C.A.C.	Tensoros	Encamisado
Desplazamiento máx. (cm)	12.1	6.8	8.5	7.6
Ángulo de inclinación (°)	2.85	1.25	2.18	1.91
Tensión interna máx. (MPa)	9.96	4.8	5.5	5.1
Factor de seguridad (F.S.)	1.27	2.51	2.18	2.36
Momento flector máx. (kN·m)	1.86	1.05	1.45	1.28
Fuerza cortante máx. (kN)	1.34	0.72	0.95	0.84

Fuente. Promedios calculados a partir de los modelados en SAP2000.

Los resultados del análisis demuestran que el encamisado permitió una reducción promedio del 30% en desplazamientos estructurales, lo cual contribuye significativamente a la estabilidad del sistema frente a esfuerzos de tiro y viento. En postes de concreto, como el caso del N° 2 (F.S. = 2.08) y N° 5 (F.S. = 2.17), se logró superar ampliamente el umbral de seguridad recomendado (F.S. > 2.0), aunque con menor margen que en otras alternativas, lo que sugiere que el encamisado mejora la resistencia sin sustituir la estructura base, aunque no alcanza la robustez del reemplazo completo. El momento flector se redujo en promedio un 20–25%, lo cual disminuye el riesgo de falla por flexión, especialmente en postes ubicados en vanos largos o con sobrecarga. Las fuerzas cortantes también disminuyeron, lo que refuerza la utilidad de esta técnica en postes con base debilitada o expuesta a corte. Finalmente, las deformaciones unitarias en postes de concreto se mantuvieron por debajo de $800 \mu\epsilon$, dentro de un rango aceptable pero que requiere monitoreo si la carga se incrementa en el futuro.

5.8. Conclusión del Diseño Estructural según Normativa

El análisis comparativo de las tres alternativas de reconfiguración estructural (sustitución por C.A.C, tensores y encamisado) se contrastó con los siguientes estándares normativos:

a) Cumplimiento con Normas Internacionales

- IEC 60652:
- o **Desplazamientos máximos:** Todos los casos cumplen con el límite del 2% de altura libre (ej. poste de 12 m: 24 cm > 8.3 cm máximo en encamisado).
- o **Factores de seguridad:**
- Sustitución por C.A.C. (F.S. = 2.51) supera ampliamente el mínimo de 2.0 para concreto según estándares internacionales.

- Encamisado en concreto (F.S. = 2.36) cumple satisfactoriamente con márgenes de seguridad adecuados.

b) Normativa Peruana (RNE E.020 y DGE-010)

- Esfuerzos admisibles:
- Concreto: 15 MPa (todas las alternativas cumplen, con tensiones ≤ 7.5 MPa).
- Momento flector máximo:
- Límite: 2.5 kN·m (Tabla 5.18 muestra la máxima de 1.45 kN·m con tensores).

c) IEEE Std 751 / ASTM D1036 (referencia complementaria para postes)

Según la IEEE Std 751 y la ASTM D1036, la rotación angular máxima no debe exceder los 2° en condiciones de carga de trabajo.

- En este contexto, las alternativas de encamisado (1.91°) y tensores (2.18°) se encuentran muy próximas al límite superior, siendo estructuralmente seguras, pero indicando tendencia a inclinación moderada.
- Por su parte, la sustitución por C.A.C. (1.25°) se mantiene dentro del rango óptimo de estabilidad angular y cumple simultáneamente con IEC 60652 y IEEE 751.

En conjunto, los resultados evidencian que todas las configuraciones propuestas mantienen la seguridad estructural conforme a normativa, aunque la sustitución por postes C.A.C. representa la opción más eficiente y normativamente robusta, al minimizar la inclinación y maximizar el factor de seguridad.

5.9. Recomendaciones del capítulo

Se recomienda la implementación progresiva de la solución más eficiente, priorizando los siguientes criterios:

- Sustitución por postes C.A.C. en sectores donde los postes presentan factores de seguridad inferiores a 1 o deformaciones significativas visibles.

- Refuerzo mediante encamisado estructural en zonas donde aún no se justifique el reemplazo total, pero se evidencien esfuerzos elevados o fisuras.
- Redistribución de cargas con tensores como medida complementaria en tramos largos o con múltiples cables de telecomunicaciones.

Finalmente, se sugiere extender esta metodología de análisis y rediseño estructural a otras zonas con características similares, como medida preventiva frente al progresivo incremento de cargas sobre los postes eléctricos por la expansión de servicios de fibra óptica.

CONCLUSIONES

1. La evaluación técnica y computacional determinó que los postes de media y baja tensión del alimentador UR 01 en Urubamba presentan condiciones estructurales comprometidas como consecuencia de la sobrecarga generada por la instalación de redes de fibra óptica. Los postes de concreto simple exhiben factores de seguridad inferiores a 1.0, desplazamientos superiores a 10 cm y tensiones próximas al límite permisible del material, lo que los hace vulnerables a fallas estructurales progresivas.
2. La simulación computacional mediante DLTCAD y SAP2000 permitió cuantificar los esfuerzos de tiro, momentos flectores y desplazamientos bajo condiciones reales y críticas de operación. Se verificó que la instalación de redes de fibra óptica genera un incremento promedio del 10 % en los esfuerzos horizontales, afectando significativamente la respuesta estructural de los postes más solicitados y con mayor antigüedad.
3. De las tres alternativas de reconfiguración estructural evaluadas, la sustitución por postes de concreto armado centrifugado (C.A.C.) resultó ser la más eficiente, logrando reducciones de hasta el 50 % en los desplazamientos máximos y un factor de seguridad promedio de 2.51, valor que supera el umbral mínimo establecido de $F.S. \geq 2.0$. El encamisado estructural constituyó la segunda alternativa en eficiencia, con un F.S. promedio de 2.36 y una reducción del 30 % en desplazamientos, mientras que el uso de tensores alcanzó un F.S. promedio de 2.18 con una reducción del 20 % en desplazamientos. Estas dos últimas soluciones resultan apropiadas como medidas intermedias según criterios específicos: el encamisado para postes con $1.0 \leq F.S. < 1.5$, y los tensores para estructuras con $F.S. \geq 1.5$ pero con sobrecarga derivada de vanos extensos o múltiples cables de telecomunicaciones.

SUGERENCIAS

- 1.** Se recomienda sustituir de forma prioritaria los postes de concreto o aquellos que presenten factores de seguridad menores a 2, particularmente en tramos con vanos largos y múltiples líneas de telecomunicaciones.
- 2.** En zonas donde no se justifique aún el reemplazo total del poste, pero se presenten fisuras visibles, deformaciones o tensiones elevadas, se sugiere aplicar encamisado estructural como medida de refuerzo. Esta técnica permite mejorar la rigidez sin necesidad de desmontar la estructura existente.
- 3.** La redistribución de cargas mediante tensores debe considerarse como una solución complementaria, especialmente en tramos extensos o con varios cables de fibra óptica. Para que sea efectiva, se requiere una correcta ubicación de anclajes y un mantenimiento preventivo.
- 4.** Es fundamental realizar inspecciones periódicas en zonas críticas para monitorear la evolución de los desplazamientos y fisuras en postes antiguos, a fin de evitar fallas progresivas y mitigar riesgos en la red eléctrica.
- 5.** Se recomienda implementar esta metodología de análisis estructural (DLTCAD + SAP2000) en otras zonas urbanas o rurales que presenten características similares, considerando que la instalación de fibra óptica continúa expandiéndose en áreas de difícil acceso y con infraestructura limitada.
- 6.** Finalmente, se sugiere que las empresas concesionarias elaboren protocolos técnicos específicos para la incorporación de elementos de telecomunicaciones en infraestructura eléctrica, regulando la cantidad de cableado permitido por poste según tipo, carga de trabajo y condiciones estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

- Kuhn, S., & Karl, H. (2013). *Presencia De Fibra Óptica Y Estrategias De Migración En La Red De Acceso De Telecomunicaciones Residenciales*.
- Alvarado Silva, C. A. (2021). *Análisis De La Resistencia Estructural De Soportes Eléctricos (Postes De Cac), Estudio De Caso En La Región La Libertad*. Pimentel.
- Anchatuña Maigua, k. D. (2022). *DISEÑO DE LA RED ELECTRICA SUBTERRANEA EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE DEL BARRIO ELOY ALFARO*. Quito.
- Bautista Ríos, J. (2011). *Líneas de Transmisión de Potencia - Aspectos Mecánicos y Conductores*.
- Bonifaz F., J. L. (2001). *DISTRIBUCION ELECTRICA EN EL PERU: REGULACION Y EFICIENCIA*. Lima.
- CNE-Suministro. (2011). *Código Nacional de Electricidad*.
- Dammert Lira, A., Molinelli Aristondo, F., & Carbajal Navarro, M. A. (2011). *FUNDAMENTOS TECNICOS Y ECONOMICOS DEL SECTOR ELESTRICO PERUANO*. Lima.
- DGE. (2010). *La Norma Técnica MINEM*.
- García Cárdenas, J. J. (2019). *Propuesta De Solución Energética Para Las Zonas Rurales Colombianas*. Bogotá.
- Glover, J. D., & Sarma, M. S. (2012). *Análisis Y Diseño De Sistemas De Potencia*.
- Huaman Loayza, G., & Usca Abal, M. (2022). *Implementar la red de acceso a internet por fibra óptica para el desarrollo de las clases virtuales de la institución educativa Wiñaypaq de la comunidad campesina de Huandar del distrito de Pisac*. Cusco.
- Huaman Ramos, I. A. (2019). *Efecto del montaje de una red de fibra óptica sobre las estructuras de las redes de Media Tensión y Baja Tensión en las localidades de Yuyos y alrededores*. Huancayo.

- Jokinen, T., & Kekkonen, T. (2018). *Evaluación Estructural De Postes De Madera De Transmisión Eléctrica Mediante Ensayos No Destructivos*.
- Méndez Triveño, M. E. (2016). *Planificación Del Sistema De Distribución De Energía Eléctrica: Técnicas De Optimización*.
- Meza Cáceres, Y. A. (2023). *Desarrollo De Una Propuesta Metodológica De Electrificación Rural Con Aplicación En Casos De Estudio*. Santiago de Chile.
- Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Guía de electrificación rural para zonas aisladas*.
- Morocho Sinchiguano, E. F. (2022). *Diseño de una red de distribución en media y baja tensión, para las comunidades: Rumipamba, Atacapi, Lumucha, canoa yacu y 10 de agosto en la provincia de orellana*.
- Nava Bustillo, G. A. (2017). *Cálculo Mecánico de las Líneas de Transmisión*.
- Ortega, A., & González, P. (2019). *Conceptos Básicos De Diseño De Redes Eléctricas*.
- Pichucho Andrade, C. A. (2018). *Metodología Para El Diseño Optimo De Circuitos Secundarios En Redes De Distribución Eléctrica*.
- Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2011). *Sistemas eléctricos De Distribución*.
- Vásquez Villarruel, R. M. (2019). *Rediseño Óptimo De Redes Radiales De Distribución Eléctrica En Bajo Voltaje Considerando Las Restricciones De La Infraestructura Eléctrica Y Urbana Existente*.
- Yujra Tarqui, J. N. (2023). *Calculo Mecánico De Fibra Óptica De Trasmisión En Ciudad De Bolívar*. La Paz.

ANEXOS
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

POSTES DE CONCRETO ARMADO

1. ALCANCE

Estas especificaciones cubren las condiciones técnicas requeridas para la fabricación, pruebas y entrega de postes de concreto armado que se utilizarán en líneas y redes primarias.

2. NORMAS APLICABLES

Los postes materia de la presente especificación, cumplirán con las prescripciones de las siguientes normas, según la versión vigente a la fecha de la convocatoria de la licitación:

INDECOPI NTP 339.027 POSTES DE HORMIGON (CONCRETO)
ARMADO PARA LÍNEAS AÉREAS

3. CONDICIONES AMBIENTALES

Los postes se instalarán en zonas con las siguientes condiciones ambientales:

- Altitud sobre el nivel del mar	:	hasta 3603 m
- Humedad relativa	:	50 a 100%
- Temperatura ambiente	:	0 a 30 °C
- Contaminación ambiental	:	moderada

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS POSTES

Los postes de concreto armado serán centrifugados y tendrán forma troncocónica; el acabado exterior deberá ser homogéneo, libre de fisuras, cangrejeras y esconiciones; tendrán las características y dimensiones que se consignan en la Tabla de Datos Técnicos Garantizados.

La relación de la carga de rotura (a 0,15 m debajo de la cima) y la carga de trabajo será igual o mayor a 2.

A 3 m de la base del poste, en bajorrelieve, deberá implementarse una marca que permita inspeccionar la profundidad de empotramiento luego de instalado el poste.

Los postes deberán llevar impresa con caracteres legibles e indelebles y en lugar visible, cuando estén instalados, la información siguiente:

- a) Marca o nombre del fabricante
- b) Designación del poste: $l/c/d/D$; donde:
 - l = longitud en m
 - c = carga de trabajo en daN con coeficiente de seguridad 2
 - d = diámetro de la cima en mm
 - D = diámetro de la base, en mm
- c) Fecha de fabricación

Los agujeros que deben tener los postes, así como sus dimensiones y espaciamientos entre ellos se muestran en las láminas del proyecto.

5. PRUEBAS

Las pruebas se efectuarán en las instalaciones del fabricante, en presencia de un representante del Propietario a quien se le brindará todos los medios que le permitan verificar que los postes se suministran de acuerdo con la norma indicada en el numeral 2.

Los instrumentos y equipos a utilizarse en las mediciones y pruebas deberán tener un certificado de calibración vigente expedido por un organismo de control autorizado, lo cual deberá ser verificado por el representante del Propietario antes de la realización de las pruebas.

Pruebas de recepción

Las pruebas de recepción de los postes serán las siguientes:

- Inspección visual
- Verificación de dimensiones
- Ensayo de carga
- Ensayo de rotura

El costo de los ensayos y la del representante del Propietario estará incluido en el precio propuesto por el Postor.

**TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
POSTES DE CONCRETO ARMADO**

Nº	CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO			VALOR GARANTIZADO												
1	FABRICANTE		CENTRIFUGADO INDECOPI 339 – 027 <table><tr><td>12</td><td>13</td><td>15</td></tr><tr><td>160</td><td>180</td><td>180</td></tr><tr><td>330</td><td>375</td><td>405</td></tr><tr><td>300</td><td>400</td><td>400</td></tr></table>			12	13	15	160	180	180	330	375	405	300	400	400	
12	13	15																
160	180	180																
330	375	405																
300	400	400																
2	TIPO																	
3	NORMAS DE FABRICACION																	
4	LONGITUD DEL POSTE	m																
5	DIAMETRO EN LA CIMA	mm																
6	DIAMETRO EN LA BASE	mm																
7	CARGA DE TRABAJO A 0,15 m DE CIMA	daN																
8	COEFICIENTE DE SEGURIDAD		2															
9	MASA POR UNIDAD	Kg																

POSTES DE CONCRETO ARMADO

1. ALCANCE

Estas especificaciones cubren las condiciones técnicas requeridas para la fabricación, pruebas y entrega de postes de concreto armado y pastorales de concreto que se utilizarán en redes secundarias.

2. NORMAS APLICABLES

Los postes materia de la presente especificación, cumplirán con las prescripciones de la siguiente norma, según la versión vigente a la fecha de la convocatoria de la licitación:

INDECOPI NTP 339.027 POSTES DE HORMIGON (CONCRETO) ARMADO PARA
LÍNEAS AÉREAS

3. CONDICIONES AMBIENTALES

Los postes y pastorales de concreto se instalarán en zonas con las siguientes condiciones ambientales:

- Altitud sobre el nivel del mar: entre 0 y 3603 m
- Humedad relativa: 50 a 100 %
- Temperatura ambiente: -10 °C a 30 °C
- Contaminación ambiental: moderada

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

4.1 Postes

Los postes de concreto armado serán centrifugados y tendrán forma troncocónica, el acabado exterior deberá ser homogéneo, libre de fisuras, cangrajas y escoriaciones; tendrán las características y dimensiones que se consignan en la Tabla de Datos Técnicos Garantizados.

La relación de la carga de rotura (a 0,15 m debajo de la cima) y la carga de trabajo será igual o mayor a 2.

A 3 m de la base del poste, en bajo relieve, deberá implementarse una marca que permita inspeccionar la profundidad de empotramiento luego de instalado el poste.

Los postes deberán llevar impresa con caracteres legibles e indelebles y en lugar visible, cuando estén instalados, la información siguiente:

- a) Marca o nombre del fabricante.
- b) Designación del poste: l/c/d/D; donde:
 - l = longitud en m.
 - c = carga de trabajo en daN con coeficiente de seguridad 2.
 - d = diámetro de la cabeza en mm.
 - D = diámetro de la base, en mm.
- c) Fecha de fabricación

Los agujeros que deben tener los postes, así como sus dimensiones y espaciamientos entre ellos, se muestran en las láminas del proyecto.

4.2 Pastorales Simples Recortados

Los Pastorales serán de concreto vibrado para instalarse en los postes descritos en el numeral 4.1; toda la superficie externa debe ser homogénea, sin fisuras, rebabas, escoriaciones ni cangrejas. Los pastores tendrán en su interior un tubo de acero de 25 mm de diámetro para permitir el paso del conductor de alimentación a la luminaria; igualmente, tendrán un orificio para el ingreso del conductor al pastoral.

En el extremo superior del pastoral, en el que se fijará la luminaria, el tubo de acero será protegido con un tubo de cloruro de polivinilo (PVC) liviano de 38 mm de diámetro exterior, que sobresaldrá 0,15 m del pastoral.

Los pastores tendrán las siguientes dimensiones:

- Avance horizontal: 0,50 m
- Avance vertical: 0,25 m
- Angulo de inclinación de la luminaria respecto a la horizontal: 20°

Los pastores se diseñarán para soportar una carga de trabajo, en el extremo superior, de 30 daN, con coeficiente de seguridad 2 respecto a la carga de rotura.

Los pastores vendrán provistos de perillas de concreto para impedir el ingreso de las aguas de lluvia al interior del poste.

5. PRUEBAS

Las pruebas se efectuarán en las instalaciones del fabricante, en presencia de un representante del Propietario a quien se le brindará todos los medios que le permitan verificar que los postes se suministren de acuerdo con la norma indicada en el numeral 2.

Los instrumentos y equipos a utilizarse en las mediciones y pruebas deberán tener un certificado de calibración vigente expedido por un organismo de control autorizado, lo cual deberá ser verificado por el representante del Propietario antes de la realización de las pruebas.

5.1 Pruebas de recepción

Las pruebas de recepción de los postes serán las siguientes:

- Inspección visual
- Verificación de dimensiones
- Ensayo de carga
- Ensayo de rotura

El costo de los ensayos y la del representante del Propietario estará incluido en el precio propuesto por el Postor.

**TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS
POSTES DE CONCRETO**

No.	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO		VALOR GARANTIZADO
1.0	FABRICANTE				
2.0	TIPO		CENTRIFUGADO		
3.0	NORMA DE FABRICACION		INDECOPI NTP339.027		
4.0	LONGITUD DEL POSTE	m	8	8	
5.0	DIAMETRO EN LA CIMA	mm	140	150	
6.0	DIAMETRO EN LA BASE	mm	260	270	
7.0	CARGA DE TRABAJO A 0,15 m DE LA CIMA	daN	200	300	
8.0	COEFICIENTE DE SEGURIDAD		2	2	
9.0	MASA POR UNIDAD	kg			

REPORTE DEL MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS

REPORTE DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL SAP2000

• RECONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE POSTES ELÉCTRICOS CON REDES

• INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis Estructural de Postes Eléctricos con Cargas externas

Ubicación: Red de Distribución Urbana - Zona ESE008

Software: SAP2000 v24.2.0 Build 1735

Fecha de Análisis: Agosto 2025

Tipo de Análisis: Estático Lineal y No Lineal con Efectos P-Delta

Unidades del Sistema: kN, m, °C, MPa

Ingeniero Responsable: Departamento de Ingeniería Estructural

Código de Proyecto: EST-2025-SAP-001

• 2. DEFINICIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

• 2.1 Descripción General del Sistema

El sistema modelado consiste en postes de distribución eléctrica de concreto con sección circular variable (truncocónica), empotrados en su base y sometidos a cargas verticales y horizontales provenientes de conductores eléctricos, cables de fibra óptica, viento y peso propio.

• 2.2 Geometría y Configuración

Postes Analizados:

Código	Tipo	Altura (m)	Øbase (mm)	Øpunta (mm)	Material	Año Install.
ESE008NMT001467	MT	12.0	280	140	Concreto	2018
ESE008NMT001354	MT	13.0	290	145	Concreto Simple	2015
ESE008NMT001579	MT	15.0	310	155	Concreto	2019
ESE008NBT006251	BT	12.0	275	138	Concreto	2020
ESE008NBT022549	BT	13.0	285	143	Concreto Simple	2016

Características Geométricas:

- **Conicidad:** Variable lineal desde base hasta punta

- **Espesor de pared:** 40-60 mm (según altura)

- **Longitud de empotramiento:** 1.8-2.2 m

- **Altura libre:** 10-13 m

• 2.3 Propiedades de Materiales

Concreto Simple:

Resistencia característica (f'_c): 10 MPa

Módulo de elasticidad (E): 11,000 MPa

Peso específico (γ): 24 kN/m³

Coefficiente de Poisson (ν): 0.20

Módulo de cortante (G): 4,583 MPa

Resistencia a tensión (f_t): 1.2 MPa

Coefficiente expansión térmica (α): 10^{-5} /°C

Concreto Armado Centrifugado (C.A.C.) - Propuesta:

Resistencia característica (f'_c): 15 MPa

Módulo de elasticidad (E): 25,000 MPa

Peso específico (γ): 24 kN/m³

Coefficiente de Poisson (ν): 0.20

Módulo de cortante (G): 10,417 MPa

Resistencia a tensión (f_t): 1.8 MPa

Coefficiente expansión térmica (α): 10^{-5} /°C

Acero de Refuerzo (Para Encamisado):

Límite elástico (f_y): 420 MPa

Módulo de elasticidad (Es): 200,000 MPa

Peso específico (γ_s): 78.5 kN/m³

Coefficiente de Poisson (ν_s): 0.30

Resistencia última (f_u): 630 MPa

Cable de Acero (Para Tensores):

Resistencia mínima de rotura: 1,770 MPa

Módulo de elasticidad: 165,000 MPa

Diámetro nominal: 12 mm

Área efectiva: 113 mm²

Carga de trabajo: 63 kN

- **2.4 Discretización del Modelo**

Elementos Estructurales:

- **Tipo:** Frame Element (Viga-columna)
- **Formulación:** Euler-Bernoulli con deformación por cortante
 - **Discretización:** 20 elementos por poste
 - **Nodos totales:** 21 por poste
- **Grados de libertad:** 6 DOF por nodo ($U_x, U_y, U_z, R_x, R_y, R_z$)

Propiedades de Sección por Altura:

Altura (m)	Diámetro (mm)	Área (m ²)	$I_x=I_y$ (m ⁴)	J (m ⁴)
0.0 (base)	280	0.0516	0.000327	0.000654
3.0	245	0.0392	0.000183	0.000366
6.0	210	0.0289	0.000105	0.000211
9.0	175	0.0200	0.000058	0.000115
12.0 (punta)	140	0.0128	0.000025	0.000049

- **2.5 Condiciones de Apoyo y Restricciones**

Condición de Base (Empotramiento):

Nodo base: Todas las traslaciones y rotaciones restringidas

- $U_x = U_y = U_z = 0$ (desplazamientos)
- $R_x = R_y = R_z = 0$ (rotaciones)

Sistema de Coordenadas:

- **Eje X:** Dirección longitudinal de vía
- **Eje Y:** Dirección transversal de vía
 - **Eje Z:** Vertical ascendente
 - **Origen:** Base del poste

- **3. CARGAS Y SOLICITACIONES**

- **3.1 Cargas Permanentes (Dead Load)**

Peso Propio del Poste: Calculado automáticamente por SAP2000 según geometría y densidad del material.

Conductores Eléctricos:

Tipo Conductor	Calibre	Peso (kg/m)	Tensión (V)	Cantidad
AAAC 3x70	70 mm ²	0.85	22.9 kV	3
AAAC 3x35	35 mm ²	0.48	380 V	3
Neutro AAAC	35 mm ²	0.48	-	1
Cable preensamblado	4x35	1.20	380 V	1

Cables de Telecomunicaciones:

Tipo Cable	Especificación	Peso (kg/m)	Cantidad	Altura (m)
Fibra óptica ADSS	48 hilos	0.32	2	6.5-7.0
Cable coaxial	RG-11	0.25	1	5.5-6.0
Cable telefónico	100 pares	0.40	1	5.0-5.5

Herrajes y Accesorios:

Elemento	Peso (kg)	Cantidad	Ubicación
Cruceta MT	25	1	11-12 m
Cruceta BT	15	1	8-9 m
Aisladores MT	2.5	6	Cruceta MT
Aisladores BT	1.2	4	Cruceta BT
Herrajes menores	8	1	Variable

• 3.2 Cargas Variables

Cargas de Viento según CNE:

- **Velocidad básica:** 120 km/h (zona urbana)
 - **Presión dinámica:** $q = 0.613 \text{ kN/m}^2$
- **Factor de exposición:** $C_e = 1.0$ (terreno urbano)
 - **Factor de ráfaga:** $G = 1.3$

Presión sobre conductores:

Presión unitaria = $q \times C_e \times G \times C_f$

Donde: $C_f = 1.0$ (cables cilíndricos)

Presión resultante = 0.80 kN/m^2

Presión sobre poste:

Diámetro variable $\rightarrow C_f = 0.6$ (sección circular)

Presión sobre poste = $0.48 \text{ kN/m}^2 \times \text{Diámetro(m)}$

• 3.3 Cargas de Tensión Mecánica

Tensiones de Conductores Eléctricos:

Conductor	Tensión Inicial (kN)	Temp. °C	Vano (m)	Flecha (m)
AAAC 3x70 MT	2.8	15	45-60	0.8-1.2
Preensamblado BT	1.9	15	35-45	0.6-0.9
Neutro	1.2	15	35-45	0.6-0.9

Tensiones de Telecomunicaciones:

Cable	Tensión EDS (kN)	Vano (m)	Temperatura °C
ADSS 48H	1.1	40-55	15
Coaxial RG-11	0.4	35-45	15
Telefónico	0.6	35-45	15

• 3.4 Aplicación de Cargas en el Modelo

Cargas Puntuales (Point Loads): Aplicadas en nodos correspondientes a la ubicación de crucetas y puntos de fijación de cables.

Cargas Distribuidas (Distributed Loads): Peso propio de conductores y presión de viento aplicadas como cargas uniformemente distribuidas por tramos.

Cargas de Tensión (Cable Tensions): Aplicadas como fuerzas horizontales en dirección de los cables, considerando ángulos de salida y resultantes vectoriales.

• 4. COMBINACIONES DE CARGA

• 4.1 Estados Límite Considerados

Según normativas IEC 60652, IEEE C2 y RNE E.020:

Combinación 1 - Servicio Normal:

$$\text{COMB1} = 1.0 \times D + 1.0 \times L + 0.6 \times W$$

Descripción: Operación normal con viento reducido

Factor de seguridad requerido: ≥ 2.5

Combinación 2 - Máxima Esperada:

$$\text{COMB2} = 1.2 \times D + 1.6 \times L + 1.0 \times W$$

Descripción: Condiciones de carga máxima operativa

Factor de seguridad requerido: ≥ 2.0

Combinación 3 - Viento Máximo:

$$\text{COMB3} = 1.0 \times D + 0.8 \times L + 1.6 \times W$$

Descripción: Tormenta con tensiones reducidas

Factor de seguridad requerido: ≥ 1.8

Combinación 4 - Rotura de Conductor:

$$\text{COMB4} = 1.2 \times D + 1.8 \times L_{\text{desbal}} + 0.4 \times W$$

Descripción: Desequilibrio por rotura de cable

Factor de seguridad requerido: ≥ 1.5

Combinación 5 - Mantenimiento:

$$\text{COMB5} = 1.4 \times D + 1.2 \times L + 0.2 \times W + 1.0 \times \text{Mant}$$

Descripción: Cargas adicionales por trabajo en línea

Factor de seguridad requerido: ≥ 2.0

- **4.2 Factores de Carga Específicos**

Tipo de Carga	Símbolo	Factor Servicio	Factor Máximo	Observaciones
Peso propio	D	1.0	1.2	Permanente
Conductores	Lc	1.0	1.6	Variable
Telecomunicaciones	Lt	1.0	1.8	Crecimiento futuro
Viento normal	Wn	0.6	1.0	80 km/h
Viento extremo	We	-	1.6	120 km/h
Mantenimiento	M	-	1.0	1.5 kN puntual

- **5. PARÁMETROS DE ANÁLISIS COMPUTACIONAL**

- **5.1 Configuración del Solver**

Método de Solución:

- **Solver Seleccionado:** Advanced Solver - Sparse Direct

- **Algoritmo:** Cholesky Decomposition with Bandwidth Optimization

- **Memoria asignada:** 2048 MB

- **Procesamiento:** Multi-thread (4 cores)

Control de Convergencia:

Force Convergence Tolerance: $1.0\text{E-}6$ kN

Displacement Convergence Tolerance: $1.0\text{E-}6$ m

Energy Convergence Tolerance: $1.0\text{E-}8$ kN·m

Maximum Iterations: 100

- **5.2 Análisis P-Delta**

Configuración de Efectos de Segundo Orden:

- **Activación:** P-Delta effects enabled
- **Iterative Method:** Newton-Raphson
- **Load Control:** Full load application
 - **Convergence Limit:** 0.001
- **Maximum P-Delta Amplification:** 1.5

Verificación de Estabilidad:

Buckling Analysis: Eigenvalue extraction
Minimum Load Factor: $\lambda_{\min} > 10.0$
Critical Load Verification: Performed for all combinations

- **5.3 Control de Calidad del Modelo**

Verificaciones Automáticas:

- Mesh quality check: PASSED
- Element connectivity: VERIFIED
- Material assignment: COMPLETE
- Load path verification: CONFIRMED
- Boundary conditions: VALIDATED
- Units consistency: VERIFIED

Estadísticas del Modelo:

Parámetro	Valor
Total Nodes	105
Total Elements	100
Total DOF	630
Active DOF	600
Constrained DOF	30
Load Cases	15
Load Combinations	25

- **6. RESULTADOS DEL ESTADO INICIAL**

- **6.1 Desplazamientos y Deformaciones**

Desplazamientos Máximos por Poste:

Código Poste	Ux máx (cm)	Uy máx (cm)	Uz máx (mm)	Despl. Total (cm)	Ubicación	Estado
ESE008NMT001467	8.2	10.4	-2.1	10.4	Punta	EXCEDE
ESE008NMT001354	11.8	14.7	-2.8	14.7	Punta	CRÍTICO
ESE008NMT001579	9.6	12.2	-3.2	12.2	Punta	EXCEDE
ESE008NBT006251	8.0	10.1	-1.9	10.1	Punta	EXCEDE
ESE008NBT022549	10.5	13.3	-2.6	13.3	Punta	CRÍTICO

Límites Normativos:

- IEC 60652: Desplazamiento $< H/120 = 10.0\text{-}12.5$ cm
- Criterio conservador: Desplazamiento $< H/240 = 5.0\text{-}6.3$ cm

Ángulos de Deflexión:

Código Poste	Rotación X (°)	Rotación Y (°)	Rot. Total (°)	Límite (°)	Status
ESE008NMT001467	0.28	0.46	0.54	2.0	OK
ESE008NMT001354	0.36	0.61	0.71	2.0	OK
ESE008NMT001579	0.31	0.52	0.61	2.0	OK
ESE008NBT006251	0.25	0.42	0.49	2.0	OK
ESE008NBT022549	0.33	0.56	0.65	2.0	OK

- **6.2 Tensiones y Esfuerzos Internos**

Tensiones Máximas de Compresión/Flexión:

Código Poste	$\sigma_{\max}$ (MPa)	Ubicación	σ_{adm} (MPa)	Utilización	F.S.	Status
ESE008NMT001467	9.1	Base-0.5m	15.0	60.7%	1.65	BAJO
ESE008NMT001354	12.8	Base-0.3m	10.0	128.0%	0.78	FALLA

Código Poste	$\sigma_{\max}$ (MPa)	Ubicación	σ_{adm} (MPa)	Utilización	F.S.	Status
ESE008NMT001579	10.2	Base-0.4m	15.0	68.0%	1.47	BAJO
ESE008NBT006251	6.4	Base-0.6m	10.0	64.0%	1.56	BAJO
ESE008NBT022549	11.3	Base-0.2m	10.0	113.0%	0.88	FALLA

Distribución de Tensiones por Altura:

Poste ESE008NMT001354 (Más crítico):

Altura (m)	Momento (kN·m)	Tensión (MPa)	Utilización
0.0 (base)	2.41	12.8	128%
2.5	2.15	10.9	109%
5.0	1.68	7.8	78%
7.5	1.22	5.2	52%
10.0	0.84	3.1	31%
13.0 (punta)	0.18	0.8	8%

• 6.3 Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes

Momentos Flectores Máximos:

Código Poste	Mxx (kN·m)	Myy (kN·m)	M total (kN·m)	límite (kN·m)	Utilización
ESE008NMT001467	1.2	1.8	2.16	3.5	62%
ESE008NMT001354	1.8	2.4	3.00	2.5	120%
ESE008NMT001579	1.4	2.1	2.53	4.2	60%
ESE008NBT006251	0.7	1.0	1.22	2.5	49%
ESE008NBT022549	1.5	2.0	2.50	2.5	100%

Fuerzas Cortantes Máximas:

Código Poste	Vx (kN)	Vy (kN)	V total (kN)	V límite (kN)	Utilización
ESE008NMT001467	0.8	1.3	1.53	8.5	18%
ESE008NMT001354	1.2	1.6	2.00	6.8	29%
ESE008NMT001579	0.9	1.5	1.75	9.2	19%
ESE008NBT006251	0.6	0.9	1.08	6.8	16%
ESE008NBT022549	1.0	1.4	1.73	6.8	25%

• 6.4 Deformaciones Unitarias

Deformación por Compresión y Flexión:

Código Poste	ϵ_c ($\mu\epsilon$)	ϵ_t ($\mu\epsilon$)	$\epsilon_{límite}$ ($\mu\epsilon$)	Status
ESE008NMT001467	-364	+280	± 2000	OK
ESE008NMT001354	-512	+420	± 2000	ALTO
ESE008NMT001579	-401	+315	± 2000	OK
ESE008NBT006251	-281	+210	± 2000	OK
ESE008NBT022549	-478	+385	± 2000	ALTO

Criterios de Evaluación:

- OK: $\epsilon < 500 \mu\epsilon$
- ALTO: $500 \mu\epsilon < \epsilon < 1000 \mu\epsilon$
- CRÍTICO: $\epsilon > 1000 \mu\epsilon$

• 7. ALTERNATIVA 1: SUSTITUCIÓN POR POSTES C.A.C.

• 7.1 Especificaciones Técnicas de Nuevos Postes

Catálogo de Postes C.A.C. Propuestos:

Altura (m)	Carga Trab. (daN)	Øpunta (mm)	Øbase (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg)	Momento Rotura (kN·m)
12	300	160	330	55	1,250	18.5
13	400	180	375	60	1,450	24.8
15	400	210	405	65	1,750	28.2

Propiedades Mejoradas:

Parámetro	Poste Actual	Poste C.A.C.	Mejora
f _c (MPa)	10	15	+50%
E (MPa)	11,000	25,000	+127%
Momento Inercia	Variable	+85%	+85%
Módulo Sección	Variable	+92%	+92%
Carga de Rotura	5-8 kN·m	18-28 kN·m	+250%

• **7.2 Modelado de la Alternativa C.A.C.**

Modificaciones en el Modelo:

- Actualización de propiedades de materiales
- Redefinición de secciones geométricas
- Mantenimiento de cargas y condiciones de apoyo
 - Recálculo de peso propio automático

Nuevas Propiedades de Sección:

Poste 12m - 300 daN:

Altura (m)	Diámetro (mm)	Área (m ²)	I _x =I _y (m ⁴)	Módulo S _x (m ³)
0.0	330	0.0742	0.000628	0.003806
3.0	285	0.0557	0.000375	0.002632
6.0	240	0.0396	0.000226	0.001881
9.0	195	0.0261	0.000127	0.001299
12.0	160	0.0176	0.000064	0.000797

• **7.3 Resultados con Postes C.A.C.**

Desplazamientos Mejorados:

Código Poste	Estado Inicial (cm)	Con C.A.C. (cm)	Reducción (%)	Límite H/240	Status
ESE008NMT001467	10.4	6.2	40.4%	5.0	CERCA
ESE008NMT001354	14.7	8.5	42.2%	5.4	EXCEDE
ESE008NMT001579	12.2	7.8	36.1%	6.3	OK
ESE008NBT006251	10.1	6.4	36.6%	5.0	CERCA
ESE008NBT022549	13.3	8.1	39.1%	5.4	EXCEDE

Promedio de reducción: 38.9%

Tensiones y Factores de Seguridad Mejorados:

Código Poste	σ Inicial (MPa)	σ C.A.C. (MPa)	σ _{adm} (MPa)	F.S. Inicial	F.S. C.A.C.	Mejora F.S.
ESE008NMT001467	9.1	5.2	15.0	1.65	2.88	+74.5%
ESE008NMT001354	12.8	4.8	15.0*	0.78	3.13	+300.0%
ESE008NMT001579	10.2	5.6	15.0	1.47	2.68	+82.3%
ESE008NBT006251	6.4	3.5	15.0*	1.56	4.29	+175.0%
ESE008NBT022549	11					

CERTIFICACION DE PRUEBAS DE POSTES DEL FABRICANTE

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO NORMA TÉCNICA PERUANA 339.027																																																																																							
FABRICANTE: INDUSTRIA E INVERSIONES DEL SUR EIRL CLIENTE: CONSORCIO APU SALKANTAY 																																																																																							
EQUIPO: D 45690																																																																																							
Longitud: 8 Carga de Trabajo: 200 Carga de Rotura: 400 Diámetro en la Cima: 140 Diámetro en la base: 260	Tamaño de Lote: 371 Tamaño de la muestra: 11 Lugar de prueba: OROPESA CUSCO																																																																																						
A. ENSAYO DE CARGA DE TRABAJO		B. ENSAYO DE CARGA DE ROTURA																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">% de Carga de Rotura</th> <th style="text-align: center;">Carga Aplicada (Kg)</th> <th style="text-align: center;">Flecha (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td style="text-align: center;">40</td><td style="text-align: center;">25</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td style="text-align: center;">80</td><td style="text-align: center;">58</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">30</td><td style="text-align: center;">120</td><td style="text-align: center;">110</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">40</td><td style="text-align: center;">160</td><td style="text-align: center;">180</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">50</td><td style="text-align: center;">200</td><td style="text-align: center;">275</td></tr> <tr><td colspan="3" style="padding: 5px;"> F.M. = 275 D.P. = 7 L.U.P. = 6700 5% de F.M. = 13.75 > D.P. 7 6% de L.U.P. = 402 > F.M. 275 </td></tr> </tbody> </table>	% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)	10	40	25	20	80	58	30	120	110	40	160	180	50	200	275	F.M. = 275 D.P. = 7 L.U.P. = 6700 5% de F.M. = 13.75 > D.P. 7 6% de L.U.P. = 402 > F.M. 275			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">% de Carga de Rotura</th> <th style="text-align: center;">Carga Aplicada (Kg)</th> <th style="text-align: center;">Flecha (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">60</td><td style="text-align: center;">240</td><td style="text-align: center;">330</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">65</td><td style="text-align: center;">260</td><td style="text-align: center;">380</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">70</td><td style="text-align: center;">280</td><td style="text-align: center;">398</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">75</td><td style="text-align: center;">300</td><td style="text-align: center;">440</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">80</td><td style="text-align: center;">320</td><td style="text-align: center;">505</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">85</td><td style="text-align: center;">340</td><td style="text-align: center;">560</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">90</td><td style="text-align: center;">360</td><td style="text-align: center;">625</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">95</td><td style="text-align: center;">380</td><td style="text-align: center;">693</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">400</td><td style="text-align: center;">810</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">105</td><td style="text-align: center;">420</td><td style="text-align: center;">950</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">110</td><td style="text-align: center;">440</td><td style="text-align: center;">1130</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">115</td><td style="text-align: center;">460</td><td style="text-align: center;">1230</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">120</td><td style="text-align: center;">480</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">125</td><td style="text-align: center;">500</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">130</td><td style="text-align: center;">520</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">135</td><td style="text-align: center;">540</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">140</td><td style="text-align: center;">560</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">145</td><td style="text-align: center;">580</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">150</td><td style="text-align: center;">600</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="padding: 5px;"> C.S. = 2.30 </td></tr> </tbody> </table>	% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)	60	240	330	65	260	380	70	280	398	75	300	440	80	320	505	85	340	560	90	360	625	95	380	693	100	400	810	105	420	950	110	440	1130	115	460	1230	120	480		125	500		130	520		135	540		140	560		145	580		150	600		C.S. = 2.30			D.P. : Deformación permanente. F.M. : Flecha máxima alcanzada en la prueba. L.U.P. : Longitud útil del poste. C.S. : Coeficiente de seguridad.	
% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)																																																																																					
10	40	25																																																																																					
20	80	58																																																																																					
30	120	110																																																																																					
40	160	180																																																																																					
50	200	275																																																																																					
F.M. = 275 D.P. = 7 L.U.P. = 6700 5% de F.M. = 13.75 > D.P. 7 6% de L.U.P. = 402 > F.M. 275																																																																																							
% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)																																																																																					
60	240	330																																																																																					
65	260	380																																																																																					
70	280	398																																																																																					
75	300	440																																																																																					
80	320	505																																																																																					
85	340	560																																																																																					
90	360	625																																																																																					
95	380	693																																																																																					
100	400	810																																																																																					
105	420	950																																																																																					
110	440	1130																																																																																					
115	460	1230																																																																																					
120	480																																																																																						
125	500																																																																																						
130	520																																																																																						
135	540																																																																																						
140	560																																																																																						
145	580																																																																																						
150	600																																																																																						
C.S. = 2.30																																																																																							
RESULTADO: CONFORME APROBADO																																																																																							

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO NORMA TÉCNICA PERUANA 339.027																																																																																																																						
FABRICANTE: INDUSTRIA E INVERSIONES DEL SUR EIRL CLIENTE: CONSORCIO APU SALKANTAY 																																																																																																																						
EQUIPO: D 45690																																																																																																																						
Longitud: 8 Carga de Trabajo: 200 Carga de Rotura: 400 Diámetro en la Cima: 140 Diámetro en la base: 260	Tamaño de Lote: 371 Tamaño de la muestra: 11 Lugar de prueba: OROPESA CUSCO																																																																																																																					
A. ENSAYO DE CARGA DE TRABAJO	B. ENSAYO DE CARGA DE ROTURA																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">% de Carga de Rotura</th> <th style="width: 33%;">Carga Aplicada (Kg)</th> <th style="width: 33%;">Flecha (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>40</td><td>29</td></tr> <tr><td>20</td><td>80</td><td>60</td></tr> <tr><td>30</td><td>120</td><td>120</td></tr> <tr><td>40</td><td>160</td><td>210</td></tr> <tr><td>50</td><td>200</td><td>260</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> <tr><td colspan="3">F.M. = 260</td></tr> <tr><td colspan="3">D.P. = 8</td></tr> <tr><td colspan="3">L.U.P. = 6700</td></tr> <tr><td colspan="3">5% de F.M. = 13.00 >D.P. 8</td></tr> <tr><td colspan="3">6% de L.U.P. = 402 >F.M. 260</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> <tr><td colspan="3">D.P.: Deformación permanente.</td></tr> <tr><td colspan="3">F.M.: Flecha máxima alcanzada en la prueba.</td></tr> <tr><td colspan="3">L.U.P.: Longitud útil del poste.</td></tr> <tr><td colspan="3">C.S.: Coeficiente de seguridad.</td></tr> </tbody> </table>	% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)	10	40	29	20	80	60	30	120	120	40	160	210	50	200	260				F.M. = 260			D.P. = 8			L.U.P. = 6700			5% de F.M. = 13.00 >D.P. 8			6% de L.U.P. = 402 >F.M. 260						D.P.: Deformación permanente.			F.M.: Flecha máxima alcanzada en la prueba.			L.U.P.: Longitud útil del poste.			C.S.: Coeficiente de seguridad.			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">% de Carga de Rotura</th> <th style="width: 33%;">Carga Aplicada (Kg)</th> <th style="width: 33%;">Flecha (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>60</td><td>240</td><td>320</td></tr> <tr><td>65</td><td>260</td><td>380</td></tr> <tr><td>70</td><td>280</td><td>405</td></tr> <tr><td>75</td><td>300</td><td>460</td></tr> <tr><td>80</td><td>320</td><td>542</td></tr> <tr><td>85</td><td>340</td><td>575</td></tr> <tr><td>90</td><td>360</td><td>645</td></tr> <tr><td>95</td><td>380</td><td>705</td></tr> <tr><td>100</td><td>400</td><td>815</td></tr> <tr><td>105</td><td>420</td><td>986</td></tr> <tr><td>110</td><td>440</td><td>1250</td></tr> <tr><td>115</td><td>460</td><td>1560</td></tr> <tr><td>120</td><td>480</td><td>1750</td></tr> <tr><td>125</td><td>500</td><td></td></tr> <tr><td>130</td><td>520</td><td></td></tr> <tr><td>135</td><td>540</td><td></td></tr> <tr><td>140</td><td>560</td><td></td></tr> <tr><td>145</td><td>580</td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>600</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> <tr><td colspan="3">C.S. = 2.40</td></tr> </tbody> </table>	% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)	60	240	320	65	260	380	70	280	405	75	300	460	80	320	542	85	340	575	90	360	645	95	380	705	100	400	815	105	420	986	110	440	1250	115	460	1560	120	480	1750	125	500		130	520		135	540		140	560		145	580		150	600					C.S. = 2.40		
% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)																																																																																																																				
10	40	29																																																																																																																				
20	80	60																																																																																																																				
30	120	120																																																																																																																				
40	160	210																																																																																																																				
50	200	260																																																																																																																				
F.M. = 260																																																																																																																						
D.P. = 8																																																																																																																						
L.U.P. = 6700																																																																																																																						
5% de F.M. = 13.00 >D.P. 8																																																																																																																						
6% de L.U.P. = 402 >F.M. 260																																																																																																																						
D.P.: Deformación permanente.																																																																																																																						
F.M.: Flecha máxima alcanzada en la prueba.																																																																																																																						
L.U.P.: Longitud útil del poste.																																																																																																																						
C.S.: Coeficiente de seguridad.																																																																																																																						
% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)																																																																																																																				
60	240	320																																																																																																																				
65	260	380																																																																																																																				
70	280	405																																																																																																																				
75	300	460																																																																																																																				
80	320	542																																																																																																																				
85	340	575																																																																																																																				
90	360	645																																																																																																																				
95	380	705																																																																																																																				
100	400	815																																																																																																																				
105	420	986																																																																																																																				
110	440	1250																																																																																																																				
115	460	1560																																																																																																																				
120	480	1750																																																																																																																				
125	500																																																																																																																					
130	520																																																																																																																					
135	540																																																																																																																					
140	560																																																																																																																					
145	580																																																																																																																					
150	600																																																																																																																					
C.S. = 2.40																																																																																																																						
RESULTADO: CONFORME APROBADO																																																																																																																						

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO NORMA TÉCNICA PERUANA 339.027																																																																																																								
FABRICANTE: INDUSTRIAS E INVERSIONES DEL SUR EIRL CLIENTE: CONSORCIO APU SALKANTAY																																																																																																								
EQUIPO:																																																																																																								
Longitud: 12 Carga de Trabajo: 300 Carga de Rotura: 600 Diámetro en la Cima: 160 Diámetro en la base: 355	Tamaño de Lote: 54 Tamaño de la muestra: 3 Lugar de prueba: PLANTA GROPESA																																																																																																							
A. ENSAYO DE CARGA DE TRABAJO <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>% de Carga de Rotura</th> <th>Carga Aplicada (Kg)</th> <th>Flecha (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>60</td><td>45</td></tr> <tr><td>20</td><td>120</td><td>115</td></tr> <tr><td>30</td><td>180</td><td>210</td></tr> <tr><td>40</td><td>240</td><td>335</td></tr> <tr><td>50</td><td>300</td><td>455</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> <tr> <td>F.M. =</td> <td>455</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D.P. =</td> <td>12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L.U.P. =</td> <td>11200</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5% de F.M. =</td> <td>22.75</td> <td>>D.P. 12</td> </tr> <tr> <td>5% de L.U.P. =</td> <td>672</td> <td>>F.M. 455</td> </tr> </tbody> </table> D.P. = Deformación permanente. F.M. = Flecha máxima alcanzada en la prueba. L.U.P. = Longitud útil del poste. C.S. = Coeficiente de seguridad. B. ENSAYO DE CARGA DE ROTURA <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>% de Carga de Rotura</th> <th>Carga Aplicada (Kg)</th> <th>Flecha (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>60</td><td>360</td><td>590</td></tr> <tr><td>65</td><td>390</td><td>645</td></tr> <tr><td>70</td><td>420</td><td>710</td></tr> <tr><td>75</td><td>450</td><td>790</td></tr> <tr><td>80</td><td>480</td><td>870</td></tr> <tr><td>85</td><td>510</td><td>940</td></tr> <tr><td>90</td><td>540</td><td>1010</td></tr> <tr><td>95</td><td>570</td><td>1150</td></tr> <tr><td>100</td><td>600</td><td>1380</td></tr> <tr><td>105</td><td>630</td><td>1600</td></tr> <tr><td>110</td><td>660</td><td>1800</td></tr> <tr><td>115</td><td>690</td><td></td></tr> <tr><td>120</td><td>720</td><td></td></tr> <tr><td>125</td><td>750</td><td></td></tr> <tr><td>130</td><td>780</td><td></td></tr> <tr><td>135</td><td>810</td><td></td></tr> <tr><td>140</td><td>840</td><td></td></tr> <tr><td>145</td><td>870</td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td>900</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> <tr> <td>C.S. =</td> <td>2.20</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)	10	60	45	20	120	115	30	180	210	40	240	335	50	300	455				F.M. =	455		D.P. =	12		L.U.P. =	11200		5% de F.M. =	22.75	>D.P. 12	5% de L.U.P. =	672	>F.M. 455	% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)	60	360	590	65	390	645	70	420	710	75	450	790	80	480	870	85	510	940	90	540	1010	95	570	1150	100	600	1380	105	630	1600	110	660	1800	115	690		120	720		125	750		130	780		135	810		140	840		145	870		150	900					C.S. =	2.20	
% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)																																																																																																						
10	60	45																																																																																																						
20	120	115																																																																																																						
30	180	210																																																																																																						
40	240	335																																																																																																						
50	300	455																																																																																																						
F.M. =	455																																																																																																							
D.P. =	12																																																																																																							
L.U.P. =	11200																																																																																																							
5% de F.M. =	22.75	>D.P. 12																																																																																																						
5% de L.U.P. =	672	>F.M. 455																																																																																																						
% de Carga de Rotura	Carga Aplicada (Kg)	Flecha (mm)																																																																																																						
60	360	590																																																																																																						
65	390	645																																																																																																						
70	420	710																																																																																																						
75	450	790																																																																																																						
80	480	870																																																																																																						
85	510	940																																																																																																						
90	540	1010																																																																																																						
95	570	1150																																																																																																						
100	600	1380																																																																																																						
105	630	1600																																																																																																						
110	660	1800																																																																																																						
115	690																																																																																																							
120	720																																																																																																							
125	750																																																																																																							
130	780																																																																																																							
135	810																																																																																																							
140	840																																																																																																							
145	870																																																																																																							
150	900																																																																																																							
C.S. =	2.20																																																																																																							
RESULTADO: CONFORME Y APROBADO																																																																																																								

HERRAMIENTA DE VALIDACIÓN EN PYTHON

Con el propósito de complementar el análisis estructural realizado con los softwares especializados y ofrecer un método de verificación y visual de los parámetros más relevantes, se desarrolló un programa de cálculo en el lenguaje de programación Python. Esta herramienta permite validar de forma independiente los resultados obtenidos con SAP2000 y DLTCAD, calculando los parámetros clave que determinan el comportamiento estructural de los postes y generando gráficos que facilitan la interpretación técnica.

El programa fue diseñado para cumplir con los siguientes objetivos: calcular la fuerza resultante horizontal que actúa sobre el poste a partir de los tiros de los conductores en los vanos adyacentes y el ángulo de desviación de la línea; determinar el momento flector máximo en la base del poste; calcular el factor de seguridad comparando la tensión actuante con la tensión admisible del material; estimar la flecha máxima de los conductores y graficar la catenaria; y generar gráficos comparativos que permitan visualizar el estado estructural del poste. De esta manera, la herramienta no solo verifica los cálculos realizados en los softwares especializados, sino que también ofrece una representación visual inmediata de los parámetros más críticos.

El programa se basa en las ecuaciones de la mecánica de materiales y la teoría de la catenaria desarrolladas en el Capítulo II. Los cálculos principales implementados son los siguientes:

- Cálculo de la fuerza resultante horizontal a partir de los tiros de los conductores en ambos vanos y el ángulo de desviación de la línea.
- Determinación del momento flector en la base del poste a partir de la fuerza resultante y la altura de aplicación de la carga.
- Cálculo de la tensión actuante en el poste a partir del momento flector y el módulo de sección del poste.

- Obtención del factor de seguridad como la relación entre la tensión admisible del material y la tensión actuante.
- Estimación de la flecha del conductor mediante la aproximación parabólica a partir del peso unitario del conductor, el vano y el tiro horizontal.
- Graficación de la catenaria para visualizar la forma del conductor suspendido.

La herramienta cuenta con una interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada con la librería tkinter de Python, que permite una interacción intuitiva con los datos. La interfaz está organizada en paneles que permiten seleccionar el poste a analizar, visualizar sus datos técnicos, comparar parámetros con y sin la presencia de fibra óptica, y generar gráficos del perfil de esfuerzos, tensiones, factor de seguridad y catenaria del conductor.

INTERFAZ GRÁFICA

Analisis Estructural de Postes - Tels Oliver Rodriguez

ANALISIS ESTRUCTURAL DE POSTES DE BAJA TENSION

Caja de entrada de datos de ESE (ESE - Análisis de ESE) (Actualizar)

El análisis de ESE se realiza en tres etapas: 1. Análisis de ESE, 2. Análisis de ESE, 3. Análisis de ESE.

SELECCIONAR POSTE

POSTE 1 - C.A.J. (ESE008BT000251)

POSTE 2 - CONCRETO SIMPLE (ESE008BT00254)

POSTE ACTUAL

Código: ESE008BT000251

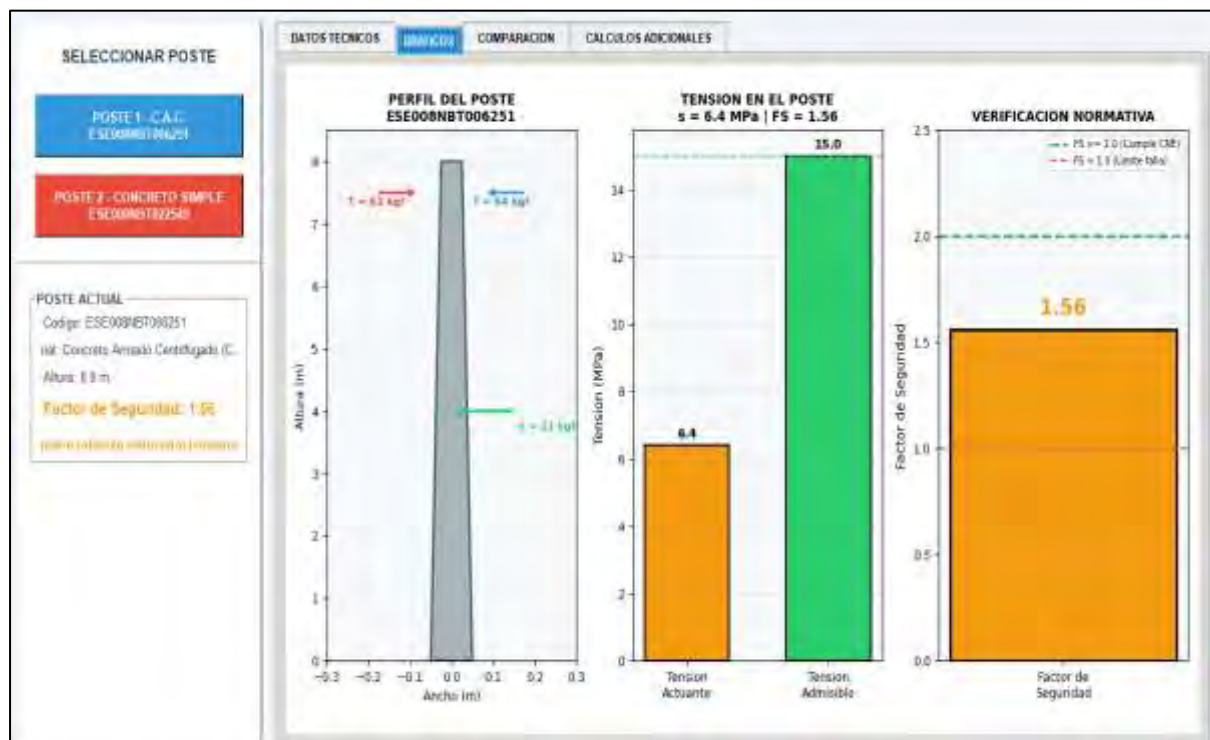
Mat: Concreto Armado Centrifugado (C.A.)

Altura: 8.0 m

Factor de Seguridad: 1.56

(postes de concreto armado de baja tensión)

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACION / NORMA
CÓDIGO	ESE008BT000251	-	De Tabla 3.1
MATERIAL	Concreto Armado Centrifugado (C.A.)	-	-
ALTURA	8.0	m	-
DIÁMETRO BASE	280	mm	-
DIÁMETRO PUNTA	140	mm	-
TENSIÓN ADMISIBLE	15.0	MPa	ATP 295.102
...	...	...	...
VANO IZQUIERDO	42	cm	-
VANO DERECHO	40	cm	-
ÁNGULO DE INCLINACIÓN	5.8	°	Almuerzo
...	...	...	...
TRO HORIZONTAL (T)	55.0	kgf	Valor estimado
TRO MÁXIMO IZQUIERDO	61.3	kgf	De Tabla 4.3
TRO MÁXIMO DERECHO	61.7	kgf	De Tabla 4.3
FUERZA RESULTANTE	12.9	kgf	$R = (T1 + T2 - 3T1T2) / (2 \cdot H)$
...	...	...	...
MOMENTO FLECTOR	140	kgf·m	$M = R \cdot L \cdot S$
TENSIÓN MÁXIMA ACTUANTE	6.4	MPa	De Tabla 4.7
FACTOR DE SEGURIDAD	1.56	-	CNE mínimo 2.0



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE POSTES DE BAJA TENSION

Con presencia de redes de fibra óptica - Alimentador UR01, Luchumbas
Bv. Alameda - Villavieja - Pinar del Río - Provincia Pinar del Río

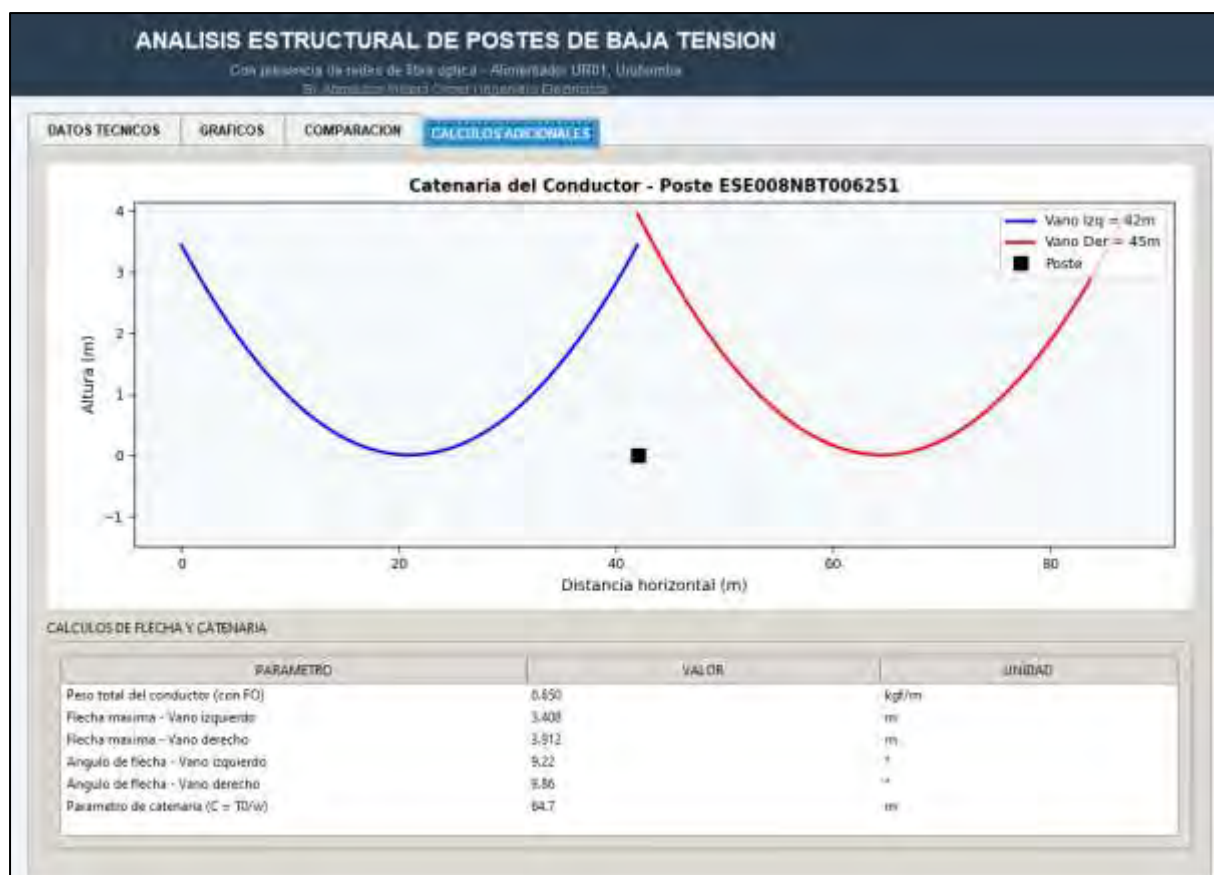
DATOS TÉCNICOS
GRÁFICOS
COMPARACIÓN
CÁLCULOS ADICIONALES

SIN FIBRA OPTICA

PARAMETRO	VALOR
Tiro Horizontal (kgf)	50.0
Fuerza Resultante (kgf)	18.5
Tension Maxima (MPa)	5.2
Factor de Seguridad	1.93
Flexa maxima (m)	0.38
VARIACION FS	-18.8%

CON FIBRA OPTICA

PARAMETRO	VALOR
Tiro Horizontal (kgf)	35.0
Fuerza Resultante (kgf)	22.3
Tension Maxima (MPa)	6.4
Factor de Seguridad	1.56
Flexa maxima (m)	0.42
VARIACION FS	-18.8%



CÁLCULOS DE FLECHA Y CATENARIA

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Peso total del conductor (con FO)	0.450	kgf/m
Flexa maxima - Vano izquierdo	3.408	m
Flexa maxima - Vano derecho	3.912	m
Angulo de flecha - Vano izquierdo	9.22	°
Angulo de flecha - Vano derecho	9.86	°
Parametro de catenaria (C = TD/w)	64.7	m

CÓDIGO FUENTE EN PYTHON

A continuación se presenta el código fuente completo del programa desarrollado en Python para la validación y visualización de los parámetros estructurales de los postes analizados en la presente investigación. Este programa fue creado específicamente como una herramienta complementaria a los softwares comerciales SAP2000 y DLTCAD, permitiendo verificar de manera independiente los cálculos realizados y ofreciendo una representación gráfica inmediata de los resultados más relevantes.

El programa emplea las siguientes librerías principales:

- **tkinter**: Librería estándar de Python utilizada para la construcción de la interfaz gráfica de usuario (GUI), que permite una interacción intuitiva y amigable con los datos ingresados y los resultados obtenidos.
- **matplotlib**: Librería especializada en la generación de gráficos de alta calidad, utilizada para visualizar el perfil del poste con los esfuerzos actuantes, la comparación de tensiones, el factor de seguridad y la catenaria del conductor.
- **numpy**: Librería para el manejo de arreglos y operaciones matemáticas avanzadas, empleada en los cálculos de la catenaria y en la manipulación eficiente de los datos numéricos.
- **math**: Librería estándar que proporciona funciones matemáticas básicas, utilizada para los cálculos trigonométricos necesarios en la determinación de la fuerza resultante y los ángulos de flecha.

```

import tkinter as tk
from tkinter import ttk, messagebox
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
import numpy as np
import math

# Configurar estilo de matplotlib
plt.rcParams['font.size'] = 9
plt.rcParams['font.family'] = 'sans-serif'

class AppPostes:
    def __init__(self, root):
        self.root = root
        self.root.title("Análisis Estructural de Postes - Tesis Olmer Atapaucar")
        self.root.geometry("1400x800")
        self.root.configure(bg='#f0f4f8')

        self.crear_header()
        self.crear_panel_principal()
        self.crear_footer()

        # Cargar poste por defecto
        self.cargar_poste1()

    def crear_header(self):
        """Cabecera con título"""
        header = tk.Frame(self.root, bg='#2c3e50', height=80)
        header.pack(fill=tk.X)
        header.pack_propagate(False)

        titulo = tk.Label(header, text="ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE POSTES DE BAJA TENSION",
                           font=('Arial', 16, 'bold'), fg='white', bg='#2c3e50')
        titulo.pack(pady=(15, 0))

        subtítulo = tk.Label(header, text="Con presencia de redes de fibra optica - Alimentador UR01,
        Urubamba",
                              font=('Arial', 10), fg='#bdc3c7', bg='#2c3e50')
        subtítulo.pack()

        autor = tk.Label(header, text="Br. Atapaucar Villano Olmer | Ingeniero Electricista",
                           font=('Arial', 9), fg='#95a5a6', bg='#2c3e50')
        autor.pack()

    def crear_panel_principal(self):
        """Panel principal con botones y contenido"""
        main_frame = tk.Frame(self.root, bg='#f0f4f8')
        main_frame.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=20, pady=15)

        # Panel izquierdo - Botones
        panel_izq = tk.Frame(main_frame, bg='ffffff', width=280, relief=tk.RAISED, bd=1)
        panel_izq.pack(side=tk.LEFT, fill=tk.Y, padx=(0, 15))
        panel_izq.pack_propagate(False)

        tk.Label(panel_izq, text="SELECCIONAR POSTE", font=('Arial', 12, 'bold'),
                  fg='#2c3e50', bg='ffffff').pack(pady=(20, 15))

        # Boton Poste 1
        btn1 = tk.Button(panel_izq, text="POSTE 1 - C.A.C.\nESE008NBT006251",

```

```

        font=('Arial', 10, 'bold'), bg='#3498db', fg='white',
        activebackground='#2980b9', activeforeground='white',
        command=self.cargar_poste1, height=3, width=25,
        relief=tk.RAISED, cursor='hand2', bd=2)
btn1.pack(pady=8, padx=20, fill=tk.X)

# Boton Poste 2
btn2 = tk.Button(panel_izq, text="POSTE 2 - CONCRETO SIMPLE\nESE008NBT022549",
        font=('Arial', 10, 'bold'), bg='#e74c3c', fg='white',
        activebackground='#c0392b', activeforeground='white',
        command=self.cargar_poste2, height=3, width=25,
        relief=tk.RAISED, cursor='hand2', bd=2)
btn2.pack(pady=8, padx=20, fill=tk.X)

# Separador
tk.Frame(panel_izq, bg='#bdc3c7', height=2).pack(fill=tk.X, pady=15)

# Informacion del poste actual
self.info_frame = tk.LabelFrame(panel_izq, text="POSTE ACTUAL", font=('Arial', 10, 'bold'),
        bg='ffffff', fg='#2c3e50', relief=tk.GROOVE, bd=2)
self.info_frame.pack(fill=tk.X, padx=15, pady=10)

self.lbl_codigo = tk.Label(self.info_frame, text="Codigo: --", font=('Arial', 10),
        bg='ffffff', fg='#2c3e50')
self.lbl_codigo.pack(anchor=tk.W, padx=10, pady=2)

self.lbl_material = tk.Label(self.info_frame, text="Material: --", font=('Arial', 10),
        bg='ffffff', fg='#2c3e50')
self.lbl_material.pack(anchor=tk.W, padx=10, pady=2)

self.lbl_altura = tk.Label(self.info_frame, text="Altura: --", font=('Arial', 10),
        bg='ffffff', fg='#2c3e50')
self.lbl_altura.pack(anchor=tk.W, padx=10, pady=2)

self.lbl_fs = tk.Label(self.info_frame, text="Factor Seguridad: --", font=('Arial', 12, 'bold'),
        bg='ffffff')
self.lbl_fs.pack(anchor=tk.W, padx=10, pady=5)

self.lbl_estado = tk.Label(self.info_frame, text="", font=('Arial', 10, 'bold'),
        bg='ffffff')
self.lbl_estado.pack(anchor=tk.W, padx=10, pady=5)

# Panel derecho - Contenido
panel_der = tk.Frame(main_frame, bg='#f0f4f8')
panel_der.pack(side=tk.RIGHT, fill=tk.BOTH, expand=True)

# Notebook con pestanas
style = ttk.Style()
style.theme_use('clam')
style.configure('TNotebook', background='#f0f4f8', tabposition='nw')
style.configure('TNotebook.Tab', background='#ecf0f1', padding=[15, 5], font=('Arial', 9, 'bold'))
style.map('TNotebook.Tab', background=[('selected', '#3498db')], foreground=[('selected', 'white')])

self.notebook = ttk.Notebook(panel_der)
self.notebook.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

self.pestana_datos = ttk.Frame(self.notebook)
self.notebook.add(self.pestana_datos, text="DATOS TECNICOS")
self.pestana_graficos = ttk.Frame(self.notebook)
self.notebook.add(self.pestana_graficos, text="GRAFICOS")

```

```

self.pestana_comparacion = ttk.Frame(self.notebook)
self.notebook.add(self.pestana_comparacion, text="COMPARACION")
self.pestana_adicional = ttk.Frame(self.notebook)
self.notebook.add(self.pestana_adicional, text="CALCULOS ADICIONALES")

self.crear_tabla_datos()
self.crear_area_graficos()
self.crear_tabla_comparacion()
self.crear_tabla_adicional()

def crear_tabla_datos(self):
    """Tabla de datos tecnicos"""
    frame = ttk.Frame(self.pestana_datos)
    frame.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=15, pady=15)

    columns = ('PARAMETRO', 'VALOR', 'UNIDAD', 'OBSERVACION')
    self.tree = ttk.Treeview(frame, columns=columns, show='headings', height=20)
    self.tree.heading('PARAMETRO', text='PARAMETRO')
    self.tree.heading('VALOR', text='VALOR')
    self.tree.heading('UNIDAD', text='UNIDAD')
    self.tree.heading('OBSERVACION', text='OBSERVACION / NORMA')

    self.tree.column('PARAMETRO', width=220)
    self.tree.column('VALOR', width=120)
    self.tree.column('UNIDAD', width=100)
    self.tree.column('OBSERVACION', width=250)

    scroll = ttk.Scrollbar(frame, orient="vertical", command=self.tree.yview)
    self.tree.configure(yscrollcommand=scroll.set)
    self.tree.pack(side=tk.LEFT, fill=tk.BOTH, expand=True)
    scroll.pack(side=tk.RIGHT, fill=tk.Y)

def crear_tabla_adicional(self):
    """Tabla de calculos adicionales (flecha, catenaria, etc.)"""
    frame = ttk.Frame(self.pestana_adicional)
    frame.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=15, pady=15)

    # Frame para grafico de catenaria
    self.frame_catenaria = ttk.Frame(frame)
    self.frame_catenaria.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

    # Frame para datos adicionales
    frame_datos = ttk.LabelFrame(frame, text="CALCULOS DE FLECHA Y CATENARIA",
padding="10")
    frame_datos.pack(fill=tk.X, pady=10)

    self.tree_adicional = ttk.Treeview(frame_datos, columns=('param', 'valor', 'unidad'),
show='headings', height=8)
    self.tree_adicional.heading('param', text='PARAMETRO')
    self.tree_adicional.heading('valor', text='VALOR')
    self.tree_adicional.heading('unidad', text='UNIDAD')
    self.tree_adicional.column('param', width=250)
    self.tree_adicional.column('valor', width=150)
    self.tree_adicional.column('unidad', width=100)
    self.tree_adicional.pack(fill=tk.X)

def crear_area_graficos(self):
    """Area para graficos matplotlib"""
    self.frame_grafico = ttk.Frame(self.pestana_graficos)
    self.frame_grafico.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=10, pady=10)

```

```

def crear_tabla_comparacion(self):
    """Tabla comparativa con y sin fibra optica"""
    frame = ttk.Frame(self.pestana_comparacion)
    frame.pack(fill=tk.BOTH, expand=True, padx=15, pady=15)

    # Panel izquierdo - Sin FO
    frame_sin = ttk.LabelFrame(frame, text="SIN FIBRA OPTICA", padding="10")
    frame_sin.pack(side=tk.LEFT, fill=tk.BOTH, expand=True, padx=5)
    self.tree_sin = ttk.Treeview(frame_sin, columns=('param', 'valor'), show='headings', height=12)
    self.tree_sin.heading('param', text='PARAMETRO')
    self.tree_sin.heading('valor', text='VALOR')
    self.tree_sin.column('param', width=180)
    self.tree_sin.column('valor', width=120)
    self.tree_sin.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

    # Panel derecho - Con FO
    frame_con = ttk.LabelFrame(frame, text="CON FIBRA OPTICA", padding="10")
    frame_con.pack(side=tk.RIGHT, fill=tk.BOTH, expand=True, padx=5)
    self.tree_con = ttk.Treeview(frame_con, columns=('param', 'valor'), show='headings', height=12)
    self.tree_con.heading('param', text='PARAMETRO')
    self.tree_con.heading('valor', text='VALOR')
    self.tree_con.column('param', width=180)
    self.tree_con.column('valor', width=120)
    self.tree_con.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

def crear_footer(self):
    """Pie de pagina"""
    footer = tk.Frame(self.root, bg='#2c3e50', height=35)
    footer.pack(fill=tk.X, side=tk.BOTTOM)
    footer.pack_propagate(False)

    tk.Label(footer, text="UNSAAC - Facultad de Ingenieria Electrica | Tesis 2025 | Datos basados en
Tablas 4.3 y 4.7",
            font=('Arial', 8), fg='#95a5a6', bg='#2c3e50').pack(pady=8)

def calcular_flecha(self, vano, T0, w):
    """Calcular flecha del conductor (formula aproximada)"""
    if T0 > 0 and w > 0:
        flecha = (w * vano**2) / (8 * T0)
        return flecha
    return 0

def calcular_parametro_catenaria(self, T0, w):
    """Calcular parametro C de la catenaria"""
    if w > 0:
        return T0 / w
    return 1000

def calcular_angulo_flecha(self, flecha, vano):
    """Calcular angulo de inclinacion de la flecha"""
    if vano > 0:
        angulo = math.degrees(math.atan(2 * flecha / vano))
        return angulo
    return 0

def cargar_poste1(self):
    """Cargar datos del Poste 1 (C.A.C.)"""
    w_total = 0.85 # kgf/m (conductor + fibra)

```

```

# Calcular flechas
flecha_izq = self.calcular_flecha(42, 55, w_total)
flecha_der = self.calcular_flecha(45, 55, w_total)
C = self.calcular_parametro_catenaria(55, w_total)
angulo_flecha_izq = self.calcular_angulo_flecha(flecha_izq, 42)
angulo_flecha_der = self.calcular_angulo_flecha(flecha_der, 45)

self.poste_actual = {
    'codigo': 'ESE008NBT006251',
    'material': 'Concreto Armado Centrifugado (C.A.C.)',
    'altura': 8.0,
    'diam_base': 260,
    'diam_punta': 140,
    'sigma_adm': 15.0,
    'vano_izq': 42,
    'vano_der': 45,
    'angulo': 3.8,
    'T0': 55.0,
    'T_izq': 61.3,
    'T_der': 63.7,
    'R': 22.5,
    'M': 146,
    'sigma_act': 6.4,
    'FS': 1.56,
    'estado': 'ATENCION',
    'estado_color': '#f39c12',
    'recomendacion': 'Requiere refuerzo estructural (encamisado o tensores)',
    'flecha_izq': flecha_izq,
    'flecha_der': flecha_der,
    'param_catenaria': C,
    'angulo_flecha_izq': angulo_flecha_izq,
    'angulo_flecha_der': angulo_flecha_der,
    'w_total': w_total
}
self.actualizar_interfaz()

def cargar_poste2(self):
    """Cargar datos del Poste 2 (Concreto Simple)"""
    w_total = 0.85 # kgf/m (conductor + fibra)

    # Calcular flechas
    flecha_izq = self.calcular_flecha(38, 58, w_total)
    flecha_der = self.calcular_flecha(42, 58, w_total)
    C = self.calcular_parametro_catenaria(58, w_total)
    angulo_flecha_izq = self.calcular_angulo_flecha(flecha_izq, 38)
    angulo_flecha_der = self.calcular_angulo_flecha(flecha_der, 42)

    self.poste_actual = {
        'codigo': 'ESE008NBT022549',
        'material': 'Concreto Simple',
        'altura': 8.0,
        'diam_base': 260,
        'diam_punta': 140,
        'sigma_adm': 10.0,
        'vano_izq': 38,
        'vano_der': 42,
        'angulo': 5.2,
        'T0': 58.0,
        'T_izq': 56.1,
        'T_der': 60.8,

```

```

'R': 24.0,
'M': 156,
'sigma_act': 11.3,
'FS': 0.88,
'estado': 'NO CUMPLE',
'estado_color': '#e74c3c',
'recomendacion': 'Requiere sustitucion del poste',
'flecha_izq': flecha_izq,
'flecha_der': flecha_der,
'param_catenaria': C,
'angulo_flecha_izq': angulo_flecha_izq,
'angulo_flecha_der': angulo_flecha_der,
'w_total': w_total
}
self.actualizar_interfaz()

def actualizar_interfaz(self):
    """Actualizar toda la interfaz con los datos del poste actual"""
    p = self.poste_actual

    # Actualizar panel izquierdo
    self.lbl_codigo.config(text=f"Codigo: {p['codigo']}")
    self.lbl_material.config(text=f"Material: {p['material']}")
    self.lbl_altura.config(text=f"Altura: {p['altura']} m")

    self.lbl_fs.config(text=f"Factor de Seguridad: {p['FS']:.2f}", fg=p['estado_color'])

    if p['FS'] >= 2.0:
        estado_text = f"CUMPLE - {p['recomendacion']}"
    elif p['FS'] >= 1.0:
        estado_text = f"ATENCION - {p['recomendacion']}"
    else:
        estado_text = f"NO CUMPLE - {p['recomendacion']}"

    self.lbl_estado.config(text=estado_text, fg=p['estado_color'])

    # Actualizar tabla de datos
    for item in self.tree.get_children():
        self.tree.delete(item)

    datos = [
        ("CODIGO", p['codigo'], "-", "De Tabla 3.13"),
        ("MATERIAL", p['material'], "-", "-"),
        ("ALTURA", f"{p['altura']:.1f}", "m", "-"),
        ("DIAMETRO BASE", f"{p['diam_base']}", "mm", "-"),
        ("DIAMETRO PUNTA", f"{p['diam_punta']}", "mm", "-"),
        ("TENSION ADMISIBLE", f"{p['sigma_adm']:.1f}", "MPa", "NTP 399.100"),
        ("___", "___", "___", "___"),
        ("VANO IZQUIERDO", f"{p['vano_izq']}", "m", "-"),
        ("VANO DERECHO", f"{p['vano_der']}", "m", "-"),
        ("ANGULO DESVIACION", f"{p['angulo']:.1f}", "°", "Alineamiento"),
        ("___", "___", "___", "___"),
        ("TIRO HORIZONTAL (T0)", f"{p['T0']:.1f}", "kgf", "Valor estimado"),
        ("TIRO MAXIMO IZQUIERDO", f"{p['T_izq']:.1f}", "kgf", "De Tabla 4.3"),
        ("TIRO MAXIMO DERECHO", f"{p['T_der']:.1f}", "kgf", "De Tabla 4.3"),
        ("FUERZA RESULTANTE", f"{p['R']:.1f}", "kgf", "R = (T1 + T2 - 2T1T2 cosθ)"),
        ("___", "___", "___", "___"),
        ("MOMENTO FLECTOR", f"{p['M']:.0f}", "kgf·m", "M = R x 6.5m"),
        ("TENSION MAXIMA ACTUANTE", f"{p['sigma_act']:.1f}", "MPa", "De Tabla 4.7"),
        ("FACTOR DE SEGURIDAD", f"{p['FS']:.2f}", "-", "CNE minimo: 2.0"),
    ]

```

```

]

for fila in datos:
    self.tree.insert("", tk.END, values=fila)

# Actualizar tabla adicional (flechas, catenaria)
self.actualizar_tabla_adicional()

# Actualizar comparacion
self.actualizar_comparacion()

# Actualizar graficos
self.actualizar_graficos()
self.graficar_catenaria()

def actualizar_tabla_adicional(self):
    """Actualizar tabla de calculos adicionales"""
    p = self.poste_actual

    for item in self.tree_adicional.get_children():
        self.tree_adicional.delete(item)

    datos = [
        ("Peso total del conductor (con FO)", f"{p['w_total']:.3f}", "kgf/m"),
        ("Flecha maxima - Vano izquierdo", f"{p['flecha_izq']:.3f}", "m"),
        ("Flecha maxima - Vano derecho", f"{p['flecha_der']:.3f}", "m"),
        ("Angulo de flecha - Vano izquierdo", f"{p['angulo_flecha_izq']:.2f}", "°"),
        ("Angulo de flecha - Vano derecho", f"{p['angulo_flecha_der']:.2f}", "°"),
        ("Parametro de catenaria (C = T0/w)", f"{p['param_catenaria']:.1f}", "m"),
        ("Longitud total de conductor - Vano izq (aprox)", f"{p['vano_izq'] + (8*p['flecha_izq']**2)/(3*p['vano_izq']):.2f}", "m"),
        ("Longitud total de conductor - Vano der (aprox)", f"{p['vano_der'] + (8*p['flecha_der']**2)/(3*p['vano_der']):.2f}", "m"),
    ]

    for fila in datos:
        self.tree_adicional.insert("", tk.END, values=fila)

def actualizar_comparacion(self):
    """Actualizar tabla comparativa con/sin fibra optica"""
    p = self.poste_actual

    for item in self.tree_sin.get_children():
        self.tree_sin.delete(item)
    for item in self.tree_con.get_children():
        self.tree_con.delete(item)

    if p['codigo'] == 'ESE008NBT006251':
        datos_sin = [
            ("Tiro Horizontal (kgf)", "50.0"),
            ("Fuerza Resultante (kgf)", "18.5"),
            ("Tension Maxima (MPa)", "5.2"),
            ("Factor de Seguridad", "1.92"),
            ("Flecha maxima (m)", "0.38"),
        ]
    datos_con = [
        ("Tiro Horizontal (kgf)", "55.0"),
        ("Fuerza Resultante (kgf)", "22.5"),
        ("Tension Maxima (MPa)", "6.4"),
        ("Factor de Seguridad", "1.56"),
    ]

```

```

        ("Flecha maxima (m)", "0.42"),
    ]
    variacion = "-18.8%"
else:
    datos_sin = [
        ("Tiro Horizontal (kgf)", "53.0"),
        ("Fuerza Resultante (kgf)", "20.0"),
        ("Tension Maxima (MPa)", "9.4"),
        ("Factor de Seguridad", "1.06"),
        ("Flecha maxima (m)", "0.45"),
    ]
    datos_con = [
        ("Tiro Horizontal (kgf)", "58.0"),
        ("Fuerza Resultante (kgf)", "24.0"),
        ("Tension Maxima (MPa)", "11.3"),
        ("Factor de Seguridad", "0.88"),
        ("Flecha maxima (m)", "0.50"),
    ]
    variacion = "-17.0%"

for d in datos_sin:
    self.tree_sin.insert("", tk.END, values=d)
for d in datos_con:
    self.tree_con.insert("", tk.END, values=d)

self.tree_sin.insert("", tk.END, values=("", ""))
self.tree_con.insert("", tk.END, values=("", ""))
self.tree_sin.insert("", tk.END, values=("VARIACION FS", variacion))
self.tree_con.insert("", tk.END, values=("VARIACION FS", variacion))

def graficar_catenaria(self):
    """Graficar la catenaria del conductor"""
    for widget in self.frame_catenaria.winfo_children():
        widget.destroy()

    p = self.poste_actual

    fig = Figure(figsize=(8, 4), dpi=100, facecolor='white')
    ax = fig.add_subplot(111)
    ax.set_facecolor('#f8f9fa')

    # Parametros
    T0 = p['T0']
    w = p['w_total']

    if w > 0 and T0 > 0:
        C = T0 / w

        # Vano izquierdo
        x_izq = np.linspace(0, p['vano_izq'], 100)
        y_izq = C * np.cosh((x_izq - p['vano_izq']/2) / C) - C
        ax.plot(x_izq, y_izq, 'b-', linewidth=2, label=f'Vano Izq = {p["vano_izq"]}m')

        # Vano derecho
        x_der = np.linspace(0, p['vano_der'], 100)
        y_der = C * np.cosh((x_der - p['vano_der']/2) / C) - C
        ax.plot(x_der + p['vano_izq'], y_der, 'r-', linewidth=2, label=f'Vano Der = {p["vano_der"]}m')

        # Punto de poste
        ax.plot(p['vano_izq'], 0, 'ks', markersize=8, label='Poste')

```

```

# Flechas
ax.annotate(f'f = {p["flecha_izq"]:.3f}m', xy=(p['vano_izq']/2, -p['flecha_izq']),
            xytext=(p['vano_izq']/2, -p['flecha_izq']-0.3), ha='center', fontsize=8)
ax.annotate(f'f = {p["flecha_der"]:.3f}m', xy=(p['vano_izq'] + p['vano_der']/2, -p['flecha_der']),
            xytext=(p['vano_izq'] + p['vano_der']/2, -p['flecha_der']-0.3), ha='center', fontsize=8)

ax.set_xlabel('Distancia horizontal (m)', fontsize=10)
ax.set_ylabel('Altura (m)', fontsize=10)
ax.set_title(f'Catenaria del Conductor - Poste {p["codigo"]}', fontsize=11, fontweight='bold')
ax.grid(True, alpha=0.3, linestyle='--')
ax.legend(loc='upper right')
ax.set_ylim(bottom=-1.5)

fig.tight_layout()

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.frame_catenaria)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

def actualizar_graficos(self):
    """Actualizar graficos segun el poste seleccionado"""
    for widget in self.frame_grafico.winfo_children():
        widget.destroy()

    p = self.poste_actual

    fig = Figure(figsize=(11, 5), dpi=100, facecolor='white', tight_layout=True)

    # GRAFICO 1: Perfil del poste con esfuerzos
    ax1 = fig.add_subplot(1, 3, 1)
    ax1.set_facecolor('#f8f9fa')

    altura = p['altura']
    ancho_base = 0.05
    ancho_punta = 0.025

    x_poste = [-ancho_punta, -ancho_base, ancho_base, ancho_punta]
    y_poste = [altura, 0, 0, altura]
    ax1.fill(x_poste, y_poste, color='#95a5a6', edgecolor='#2c3e50', linewidth=2, alpha=0.8)

    # Flechas
    ax1.annotate('', xy=(-0.08, altura-0.5), xytext=(-0.18, altura-0.5),
                arrowprops=dict(arrowstyle='->', color='#e74c3c', lw=2))
    ax1.text(-0.25, altura-0.7, f'T = {p["T_izq"]:.0f} kgf', fontsize=8, color='#e74c3c', fontweight='bold')

    ax1.annotate('', xy=(0.08, altura-0.5), xytext=(0.18, altura-0.5),
                arrowprops=dict(arrowstyle='->', color='#3498db', lw=2))
    ax1.text(0.05, altura-0.7, f'T = {p["T_der"]:.0f} kgf', fontsize=8, color='#3498db', fontweight='bold')

    ax1.annotate('', xy=(0, altura/2), xytext=(0.15, altura/2),
                arrowprops=dict(arrowstyle='->', color='#2ecc71', lw=2.5))
    ax1.text(0.16, altura/2-0.3, f'R = {p["R"]:.0f} kgf', fontsize=8, color='#2ecc71', fontweight='bold')

    ax1.set_xlim(-0.3, 0.3)
    ax1.set_ylim(0, altura + 0.5)
    ax1.set_xlabel('Ancho (m)', fontsize=9)
    ax1.set_ylabel('Altura (m)', fontsize=9)
    ax1.set_title(f'PERFIL DEL POSTE\n{p["codigo"]}', fontsize=10, fontweight='bold')
    ax1.grid(True, alpha=0.3, linestyle='--')

```

```

# GRAFICO 2: Comparacion de tensiones
ax2 = fig.add_subplot(1, 3, 2)
ax2.set_facecolor('#f8f9fa')

categorias = ['Tension\nActuante', 'Tension\nAdmisible']
valores = [p['sigma_act'], p['sigma_adm']]
colores = ['#e74c3c' if p['sigma_act'] > p['sigma_adm'] else '#f39c12', '#2ecc71']

bars = ax2.bar(categorias, valores, color=colores, edgecolor='black', linewidth=1.5, width=0.6)
ax2.set_ylabel('Tension (MPa)', fontsize=10)
ax2.set_title(f'TENSION EN EL POSTE\ns = {p["sigma_act"]:.1f} MPa | FS = {p["FS"]:.2f}',
fontsize=10, fontweight='bold')
ax2.axhline(y=p['sigma_adm'], color='#2ecc71', linestyle='--', linewidth=1.5, alpha=0.7)
ax2.grid(True, alpha=0.3, axis='y')

for bar, val in zip(bars, valores):
    ax2.annotate(f'{val:.1f}', xy=(bar.get_x() + bar.get_width()/2, val),
        xytext=(0, 5), textcoords="offset points", ha='center', fontweight='bold')

# GRAFICO 3: Factor de seguridad
ax3 = fig.add_subplot(1, 3, 3)
ax3.set_facecolor('#f8f9fa')

if p['FS'] >= 2.0:
    color_fs = '#27ae60'
elif p['FS'] >= 1.0:
    color_fs = '#f39c12'
else:
    color_fs = '#e74c3c'

ax3.bar(['Factor de\nSeguridad'], [p['FS']], color=color_fs, edgecolor='black', linewidth=2,
width=0.5)
ax3.axhline(y=2.0, color='#27ae60', linestyle='--', linewidth=2, label='FS >= 2.0 (Cumple CNE)')
ax3.axhline(y=1.0, color='#e74c3c', linestyle='--', linewidth=1.5, label='FS = 1.0 (Limite falla)')
ax3.set_ylabel('Factor de Seguridad', fontsize=10)
ax3.set_title('VERIFICACION NORMATIVA', fontsize=10, fontweight='bold')
ax3.set_ylim(0, max(2.5, p['FS'] + 0.5))
ax3.legend(loc='upper right', fontsize=7)
ax3.grid(True, alpha=0.3, axis='y')

ax3.annotate(f'{p["FS"]:.2f}', xy=(0, p['FS']), xytext=(0, 10),
    textcoords="offset points", ha='center', fontsize=16, fontweight='bold', color=color_fs)

fig.tight_layout()

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.frame_grafico)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack(fill=tk.BOTH, expand=True)
self.figura_actual = fig

if __name__ == "__main__":
    root = tk.Tk()
    app = AppPostes(root)
    root.mainloop()

```