



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS DE ESTRUCTURA CON MEF PARA LA DISTANCIA MÍNIMA DE SEGURIDAD EN REDES DE MEDIA TENSIÓN

Henry Plasencia-Saavedra

Piura, abril de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Mecánico Eléctrica

Plasencia, H. (2009). *Análisis de estructura con MEF para la distancia mínima de seguridad en redes de media tensión*. Tesis de Master en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Sistemas Energéticos y Mantenimiento. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA



"Análisis de estructura con MEF para la distancia mínima de seguridad en
redes de media tensión"

Tesis para optar el Grado de
Master en Ingeniería Mecánico Eléctrica

Ing. Henry Plasencia Saavedra

Asesor: MSc. Jorge Machacuay Arévalo

Piura, Abril 2009

**A mi esposa e hijos, quienes
formaron parte y a la vez
han sido los impulsores del
esfuerzo y sacrificio para
seguir a delante.**

Prólogo

Las DMS (Distancias Mínimas de Seguridad) son impuestas con el objetivo de salvaguardar a las personas (concesionaria, contratistas en general, terceros) y las instalaciones durante la construcción, operación o mantenimiento de las líneas eléctricas tanto de suministro eléctrico como de comunicaciones y sus equipos asociados sin afectar propiedades (públicas o privadas), medio ambiente ni al Patrimonio Cultural de la Nación.

En muchos casos las distancias mínimas de seguridad no son respetadas durante el montaje de las redes de transmisión eléctrica o son modificadas al momento de realizar la instalación de redes de comunicación o por construcción de edificaciones públicas o privadas. Cuando sucede esto es necesario colocar estructuras sobre los postes de concreto armado que permitan obtener la DMS. Estas estructuras deberán garantizar la resistencia a las cargas generadas por el peso de cables que soportan pues de fallar pondrían en alto riesgo la integridad de personas. Además de estar diseñadas para soportar las cargas de los cables deberán también tenerse en cuenta que en muchas ocasiones, en las que se realizará mantenimiento a la línea de transmisión o a las luminarias o postes, deberán soportar el peso de la persona que realiza las maniobras del mantenimiento.

Además, en este trabajo se pretende formar criterios sólidos fundamentados en una adecuada teoría y en la normativa vigente.

Quisiera aprovechar estas líneas para expresar mi sincero agradecimiento a mi asesor, el MSc. Jorge Machacuay Arévalo (a pesar de la distancia hemos podido desarrollar y elevar mis conocimientos en software de diseño de gran utilidad en lo didáctico y práctico) y también a diferentes funcionarios de Hidrandina S.A. por su apoyo incondicional en el desarrollo y otorgamiento de tiempo para el presente trabajo.

Índice General

Prólogo	2
Resumen	3
Índice General	4
Introducción	8
Capítulo 1: Situación encontrada en las empresas eléctricas	9
1.1. Actores involucrados	9
1.2. Riesgo eléctrico	9
1.2.1. Riesgo de electrocución	10
1.2.2. Riesgo de incendio	11
1.3. Causalidad de accidentes por electrocución	12
1.4. Incumplimiento de las distancias de seguridad	14
1.5. Accidentes de electrocución	16
1.6. Estadísticas de accidentabilidad en las redes eléctricas	16
Capítulo 2: Normas de las distancias mínimas de seguridad	19
2.1. Código nacional de electricidad: Tomo IV (Mayo 1978)	19
2.1.1. Distancias mínimas de seguridad	19
2.1.1.1. Entre conductores eléctricos	19
2.1.1.2. A estructuras	20
2.2. Código nacional de electricidad: Suministro 2001 (Julio 2001)	20
2.2.1. Aplicación	20
2.2.2. Instalaciones de emergencia	21
2.2.3. Medición de las distancias de seguridad y espacios	22
2.3. Norma de postes, crucetas y ménsulas de madera y concreto armado para redes de distribución	22
2.3.1. Normas a consultar	23
2.3.2. Tipos y dimensiones	23
2.4. Procedimiento de seguridad pública en media tensión	24
2.4.1. Supervisión de la seguridad pública en instalaciones eléctricas de media tensión	24
2.4.1.1. Descripción	24
2.4.1.2. Tipificación de deficiencias	24
2.4.1.3. Deficiencias reportadas	25
2.4.1.4. Resultados del procedimiento N°011-2004-OS/CD (II Semestre 2006)	25
2.4.1.5. Deficiencias por incumplimiento DS a edificaciones, letreros (II Semestre 2006)	26
2.4.1.6. Alcances	26
2.5. Reglamento nacional de edificaciones (D.S. N° 011-2006 vivienda - 08/05/06)	26

Capítulo 3: Análisis de esfuerzos a estructura acoplada a poste de concreto armado centrifugado	29
3.1. Análisis no lineal de estructuras	29
3.1.1. No linealidad geométrica	29
3.1.2. No linealidad material	30
a. Modelo básico elástico lineal	30
b. Modelo elástico no lineal	30
3.2. Cálculo del peso del conductor	32
3.3. Supervisión de la seguridad pública en instalaciones eléctricas de media tensión	33
3.4. Medidas preventivas	34
3.4.1. Mantas aislantes	34
3.4.2. Distanciadores de línea	35
3.5. Diseño del distanciador de línea	37
3.6. Análisis de esfuerzos del distanciador de línea	37
3.6.1. Apoyo del distanciador y el poste	37
3.6.2. Posición de apoyo del conductor en el distanciador	38
3.6.3. Diseño del distanciador	38
3.6.4. Análisis de esfuerzos	39
3.6.4.1. Condiciones 1	39
3.6.4.2. Condiciones 2	41
Conclusiones	45
Bibliografía	47
Anexo A Norma de postes, crucetas y ménsulas de madera y concreto armado para redes de distribución de energía	49
Anexo B Orden de fabricación de distanciadores de línea para redes eléctricas	71
Anexo C Especificaciones técnicas de postes de concreto armado (Hidrandina S.A.)	87
Anexo D Especificaciones de crucetas y mensulas de concreto (Hidrandina S.A.)	123
Anexo E Empresa de construcción de armado del poste de concreto: TC S.A. “Concreto Transformado S.A.”	135

Índice de Ilustraciones

Capítulo 1

Figura 1.1. Circuito de corriente 1, calor por efecto Joule	10
Figura 1.2. Circuito de corriente 2, recorrido de corriente por el cuerpo humano	10
Figura 1.3. Conexiones eléctricas y propagación de calor	11
Figura 1.4. Mala conexión domiciliaria	11
Figura 1.5. Manipulación de varillas de construcción	12
Foto 1.1. Edificación cerca de las líneas de media tensión	12
Figura 1.6. Condiciones inseguras respecto a las DMS	13
a) Construcción de edificaciones	
b) Instalación de antenas de TV y astas	
c) Instalaciones clandestinas	
d) Maniobra con equipo pesado	
Foto 1.2. Instalación de letreros	14
Figura 1.7. Distancias mínimas de seguridad (entre 750 V hasta 23 kV.)	15
Figura 1.8. Distancias mínimas de seguridad (neutro a tierra)	16
Cuadro N° 1.1. Causalidad de accidentes de terceros que involucran instalaciones de media tensión 2001 – 2006	17

Capítulo 2

Cuadro N° 2.1. Postes de concreto armado para uso de alumbrado público	23
Cuadro N° 2.2. Postes de concreto armado para redes de distribución	24
Cuadro N° 2.3. Porcentajes de riesgo	25
Cuadro N° 2.4. Resultados del procedimiento N° 011-2004-OS/CD a las empresas eléctricas	25
Figura 2.1. Estadística de deficiencias	25
Cuadro N° 2.5. Deficiencias incumplidas relacionadas a las distancias de seguridad	26
Cuadro N° 2.6. Puntos fiscalizables	26

Capítulo 3

Figura 3.1. Comparación de los procesos de carga: caso lineal y el caso no lineal	30
Figura 3.2. Formato total y diferencial para un modelo no lineal elástico	31
Figura 3.3. Curva $\sigma - \epsilon$ definido como una parábola de segundo orden	31
Figura 3.4. Formato integral 'hiperelástico' para elasticidad no lineal	32
Cuadro N° 3.1. Características técnicas del conductor	33
Figura 3.5. Mantas aislante	34
Foto 3.1. Uso de mantas aislantes 1	35
Foto 3.2. Uso de mantas aislantes 2	35
Foto 3.3. Tipo de distanciadores 1	36
Foto 3.4. Tipo de distanciadores 2	36
Foto 3.5. Estructura para analizar	36
Foto 3.6. Posición del conductor y aisladores	37
Foto 3.7. Área de apoyo entre arandela y poste 1	37
Foto 3.8. Área de apoyo entre arandela y poste 2	38
Foto 3.9. Posición pasante del conductor y los aisladores sujetos a los distanciadores	38

Figura 3.6. Diseño de arandela completa	39
Figura 3.7. Diseño de semi arandela	39
Figura 3.8. Resultado de esfuerzos	40
Figura 3.9. Resultado de deformaciones	40
Figura 3.10. Factor de seguridad	41
Figura 3.11. Factor de seguridad	41
Figura 3.12. Análisis del factor de seguridad	42
Figura 3.13. Análisis de soldadura	42
Figura 3.14. Análisis con pines de 25 mm de diámetro y cordón de soldadura (radio de redondeo 1/8")	43
Foto 3.10. Inclinación de pin en distanciador de línea	43

Introducción

El presente trabajo denominado “Análisis de estructura con MEF para la distancia mínima de seguridad en redes de media tensión” se ha dividido en tres capítulos:

En el capítulo 1, se describe estadísticamente la falta de información de DMS (Distancias Mínimas de Seguridad) para el uso de suministro eléctrico como también la causalidad en los diferentes accidentes.

En el capítulo 2, se describe cronológicamente las normas impartidas por: MEN (Ministerio de Energía y Minas) y OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería), con la finalidad de indicar las características técnicas del montaje y para salvaguardar la seguridad física y equipos conectados. También se presentan información del MEN relacionada a las sanciones por el incumplimiento de DMS.

En el capítulo 3, se analizan los esfuerzos a la nueva estructura acoplada a poste de CAC (Concreto Armado Centrifugado) el cual es parte de algunas alternativas, para contrarrestar las deficiencias relacionadas a DMS. Asimismo, se detallan puntos críticos en el diseño del distanciador de línea a tener en cuenta.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

Capítulo 1

Situación encontrada en las empresas eléctricas

Durante años se han registrado una alta incidencia de accidentes de electrocución asociados a: estructuras, sistemas de distribución en media tensión y actividades particulares realizadas por público en general.

Estas incidencias son complementadas por: no respetar y/o incumplimiento de las Distancias Mínimas de Seguridad, además de una falta de información de parte de los usuarios, quienes manipulan objetos conductores cerca de las redes energizadas y realizan construcciones de voladizos no autorizados haciendo uso de los aires de la vereda (vía pública).

Falta de supervisión por parte de las empresas eléctricas como también de las entidades Municipales a las edificaciones en construcción, situación que conlleva a que los usuarios regularicen posteriormente las respectivas licencias de construcción. Acción que incumple el Código Nacional de Electricidad (Tomo IV / Suministro) y el Reglamento Nacional de Construcción.

1.1. Actores involucrados

- Ciudadano o público en general
- OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minas)
- MEN (Ministerio de Energía y Minas)
- Autoridades municipales
- Empresa eléctrica

1.2. Riesgo eléctrico

Es la posibilidad de pérdidas de vidas, de daños a los bienes materiales, a la propiedad y a la economía, para un período específico y un área conocida, debido a la circulación de una corriente eléctrica.

Cabe precisar, que muchos de los accidentes de terceros presentaron quemaduras por inducción (fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un

campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida).

Los tipos de riesgos eléctricos a mencionar son:

- Riesgo de electrocución.
- Riesgo de incendio.

1.2.1. Riesgo de electrocución

- Para que exista posibilidad de circulación de corriente eléctrica es necesario:
Que exista un circuito eléctrico formado por elementos conductores.
Que el circuito esté cerrado o pueda cerrarse.

En la figura 1.1 se puede observar un circuito cerrado y la ubicación donde se propaga el calor por efecto Joule.

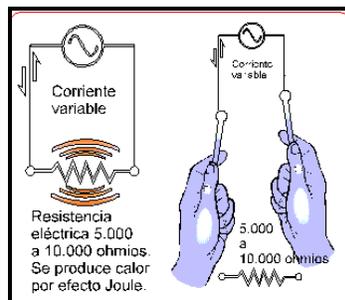


Figura 1.1.¹ Circuito de corriente 1, calor por efecto Joule

- Para que exista posibilidad de circulación de corriente por el cuerpo humano es necesario:

Que el cuerpo humano sea conductor. El cuerpo humano, si no está aislado, es conductor debido a los líquidos que contiene.

Que el cuerpo humano forme parte del circuito.

En la figura 1.2 se puede observar que el cuerpo humano forma parte del circuito y por ende el calor propagado por el efecto Joule circulará por éste.



Figura 1.2.² Circuito de corriente 2, recorrido de corriente por el cuerpo humano

^{1,2} Gerencia de fiscalización eléctrica OSINERMI

1.2.2. Riesgo de incendio

Los riesgos de incendios por causas eléctricas son muy frecuentes. A consecuencia de:

- Sobrecalentamiento de cables o equipos bajo tensión debido a sobrecarga de los conductores
- Sobrecalentamiento debido a fallas en termostatos o fallas en equipos de corte de temperatura
- Fugas debidas a fallas de aislamiento
- Ignición (ocurre cuando el calor que emite una reacción llega a ser suficiente como para sostener la reacción química) de materiales inflamables por chispas o arco
- Autoignición debida a sobrecalentamiento de materiales inflamables ubicados demasiado cerca o dentro de equipos bajo tensión, cuando en operación normal pueden llegar a estar calientes

En la figura 1.3 se puede observar una inadecuada conexión de tomacorriente, al tomacorriente principal se le están agregando más conexiones a través de extensiones. Esta situación provoca sobrecargas de corriente de larga duración que dañan principalmente el aislamiento del conductor por el calor emitido.

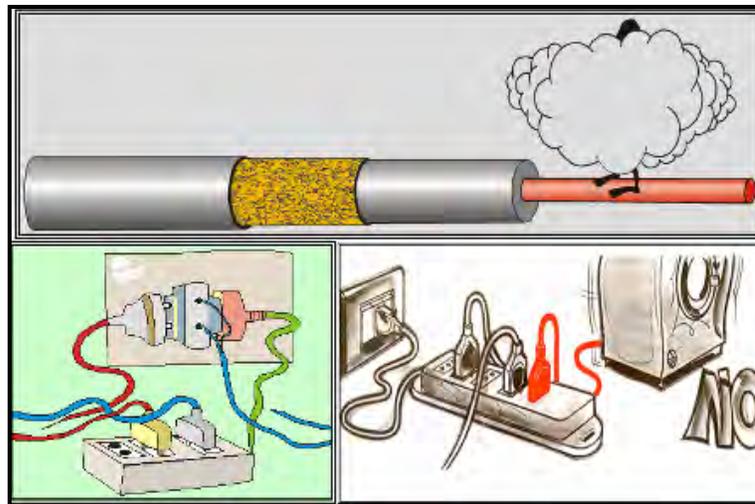


Figura 1.3. Conexiones eléctricas y propagación de calor

En la figura 1.4 podemos observar las consecuencias de una mala conexión domiciliaria, la cual puede llegar hasta la electrocución de la persona que manipula el artefacto.

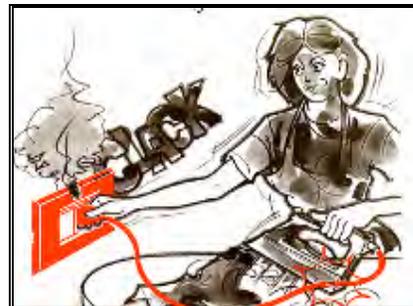


Figura 1.4. Mala conexión domiciliaria

1.3. Causalidad de accidentes por electrocución

Según estadísticas alcanzadas y verificadas por los informes realizados en cada evento se pueden separar las causas en:

- Manipulación de varillas de construcción, palos, alambres y tubos de metal cerca de las líneas de media tensión MT
- Construcción de edificaciones cerca de las líneas de media tensión, vulnerando las distancias mínimas de seguridad
- Invasión de las franjas de servidumbres de las líneas eléctricas
- Hurto de conductores
- Instalación de antenas de TV y astas
- Conexiones clandestinas
- Instalación de letreros, banderolas, carteles y avisos publicitarios
- Maniobras con equipo pesado
- Poda de árboles
- Pintado de fachadas con andamios
- Accidentes de tránsito

En la figura 1.5 se ilustra figurativamente manipulaciones de elementos conductores por personas en la parte superior de una vivienda, con esta ilustración se quiere demostrar lo peligroso de realizar este tipo de actividades cerca de líneas energizadas cercanas a las viviendas.

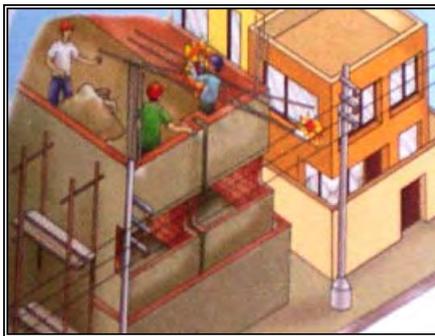


Figura 1.5. Manipulación de varillas de construcción

En la foto 1.1 se puede evidenciar que existen líneas por encima de una edificación, esta situación pone en riesgo cualquier tipo de manipulación y/o maniobras con elementos conductores en la parte superior de dicha edificación.

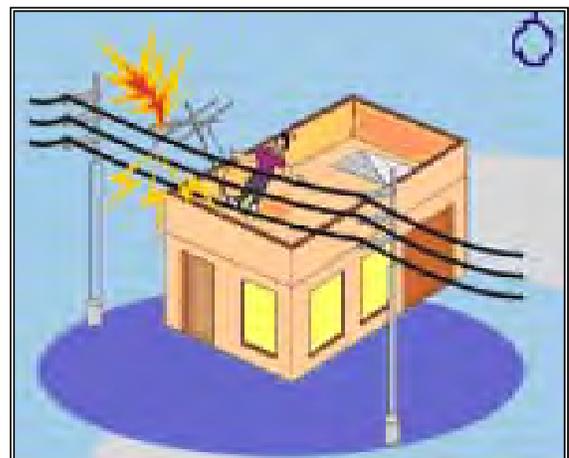


Foto 1.1. Edificación cerca de las líneas de media tensión

En la figura 1.6 se ilustran condiciones inadecuadas relacionadas a las distancias mínimas de seguridad y que podrían terminar en consecuencias perjudiciales tanto materiales como pérdidas humanas. Estas condiciones podemos separarlas en: a) edificaciones debajo de líneas energizadas, b) manipulación de objetos conductores (antenas de TV) en la parte superior de la edificación y cercanas a las líneas energizadas, c) conexiones clandestinas y d) como una condición de maniobra de equipos pesados debajo de líneas energizadas.



a) Construcción de edificaciones



b) Instalación de antenas de TV y astas



c) Instalaciones clandestinas



d) Maniobra con equipo pesado

Figura 1.6. Condiciones inseguras respecto a las DMS

En la foto 1.2 podemos observar la ubicación de un letrero de publicidad debajo de las líneas energizadas, convirtiéndose en una ubicación de riesgo para sea necesario hacer manipulaciones del letrero para futuras modificaciones y/o mantenimiento.



Foto 1.2. Instalación de letreros

De lo expuesto gráficamente se puede generalizar en actos repetidos que anteceden a un accidente en la cual se encuentra involucrada la corriente. Entre estos podemos mencionar: hacer contacto con los cables partidos o pelados cuando se encuentran en el piso o a distintas alturas, principalmente antes, durante y después del paso de eventos meteorológicos.

Gran parte de nuestra población realizan podas o talas de árboles con finalidad de: agrícolas, leña, mantenimiento de franjas de servidumbre, etc. Estas actividades deben estar acompañadas de un concepto de seguridad (sobre todo después de la lluvia) por tener un factor de alto riesgo pues entre las ramas pueden hallarse líneas eléctricas entrelazadas, o a poca altura.

Es por eso que debe haber un esfuerzo conjunto entre el público en general y las entidades involucradas (OSINERGMIN, MEN, empresas eléctricas, municipalidades), con la finalidad de tener cuidado en casos: principalmente en los núcleos urbanos, para realizar labores de encofre, desencofre, encabillado de placas o el mantenimiento de fachadas, se debe antes precatar de que no estén cerca o debajo del tendido eléctrico.

Se pueden mencionar diferentes casos como:

- Volar cometas cerca de líneas eléctricas estando el cordel mojado
- Manipular, reparar o limpiar equipos electrodomésticos sin desconectarlos de la red, con el piso mojado, estando sin zapatos
- Tender ropa mojada o seca encima de los cables tensores (retenidas) de los postes, acometidas o en techos cercanos a los tendidos
- Acercarse, subir, colgar objetos, amarrar animales, o hacer otras acciones en los cables tensores (retenidas) de los postes
- Evitar hacer instalación hidráulica cerca de una camino o conexión eléctrica

1.4. Incumplimiento de las distancias de seguridad

Como se describe en el punto anterior se puede verificar que las DMS juegan un papel crucial ante accidentes eléctricos. Pero, si revisamos algunos esquemas de edificaciones e instalaciones eléctricas podemos evidenciar que se está incumpliendo las DMS.

Es de mencionar que el incumplimiento de las DMS, ya que desde el año 1978 existen distancias mínimas normadas entre las líneas eléctricas y las edificaciones. Asimismo, existe incumplimiento en las normas de construcción de viviendas al sobrepasar los límites permitidos.

En la figura 1.7 se muestra la distancia horizontal mínima a paredes, proyecciones, balcones, ventanas, y áreas fácilmente accesibles, para aquellas edificaciones que se encuentran cercanas a conductores de suministro expuesto o cubiertos, cuyo nivel de tensión están entre los 750V hasta 23kV.

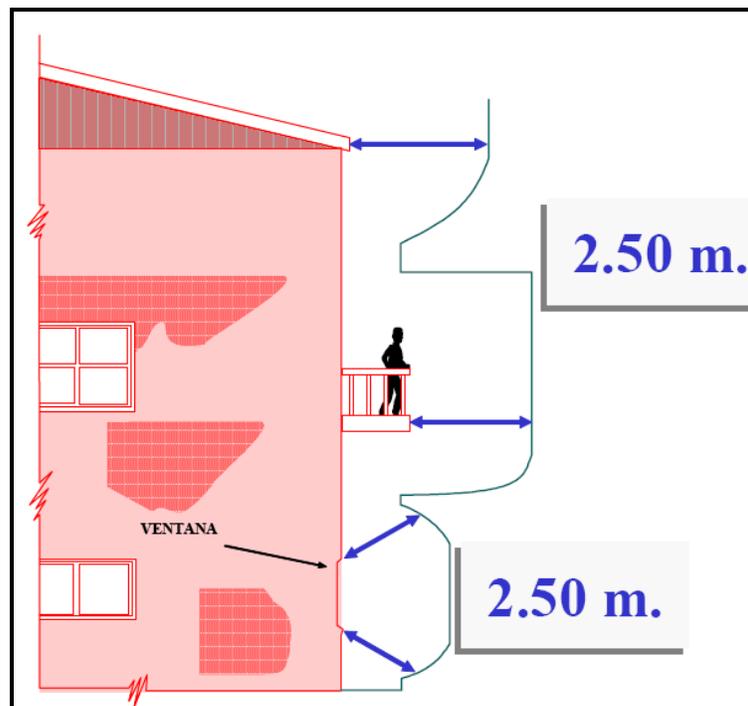


Figura 1.7³. Distancias mínimas de seguridad (entre 750 V hasta 23 kV)

Del mismo modo en la figura 1.8 se representan las distancias referenciadas a: cables de suministro aislado, más de 750V; conductores neutros que se encuentren puestos a tierra en forma efectiva en toda su longitud y se encuentran asociados al sistemas hasta 23kV y a cables de suministro cuyo cable mensajero o neutro se encuentre efectivamente puesto a tierra.

³ Interpretación de la tabla 234-1 código nacional de electricidad - suministro

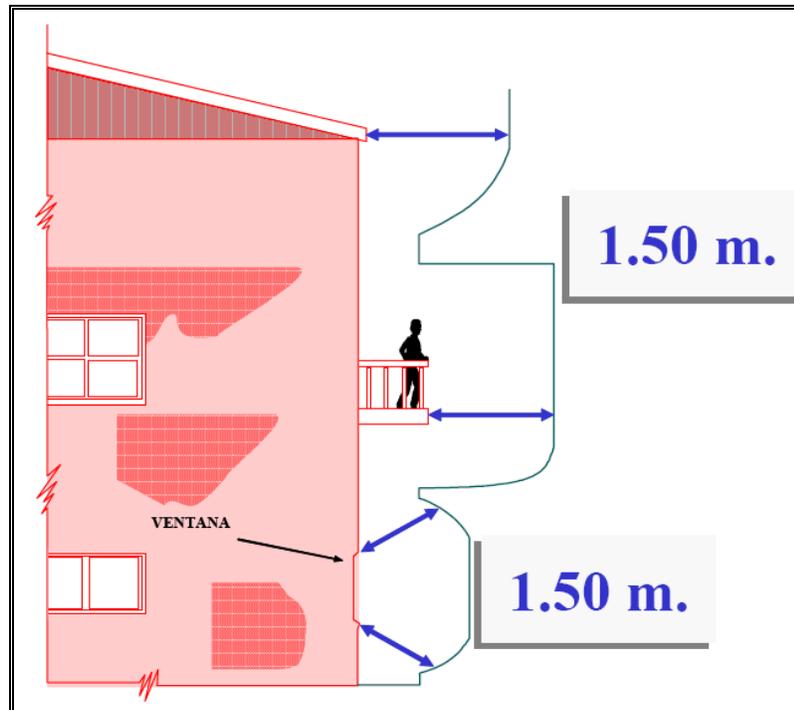


Figura 1.8⁴. Distancias mínimas de seguridad (neutro a tierra)

1.5. Accidentes de electrocución

A consecuencia de las estadísticas de accidentes de electrocución motivaron a las empresas eléctricas de Perú, conjuntamente a las exigencias de los entes fiscalizadores a optar medidas preventivas y a continuar con una sistemática campaña (mediante publicaciones en los recibos de energía) para prevenir accidentes.

Gran parte de estos accidentes se producen cuando la ciudadanía construye "voladizos" en sus viviendas, dejando los cables de media tensión pegados a las ventanas de las casas, expuestos a contactos involuntarios.

Incluso se ha detectado casos en que algunas personas utilizan postes de electricidad y otras instalaciones de energía como estructuras para sus viviendas. También son frecuentes los casos de electrocución al manipular las redes con el fin de hurtar energía.

Existen imágenes sobre accidentes de electrocución a personas que pueden ser impactantes para el objetivo de la tesis, es por eso que se ha preferido no publicarlas en esta documentación.

1.6. Estadísticas de accidentabilidad en las redes eléctricas

Se trata de algo muy serio. Un accidente por contacto eléctrico es el paso de la corriente por el organismo humano, lo cual puede causar desde un paro cardíaco, respiratorio, heridas severas, grandes quemaduras, hasta la muerte.

⁴ Interpretación de la tabla 234-1 código nacional de electricidad – suministro

Otra de las consecuencias puede ser un shock eléctrico, en el cual se provoca una debilidad corporal, derivada de la pérdida de fluidos corporales circulantes, como el plasma, además de intenso dolor o pánico.

Entre los años 2001 y 2006 se registraron 466 accidentes de terceros en instalaciones de los concesionarios de distribución eléctrica, de los cuales 317 (68%) estuvieron relacionados con contactos accidentales con instalaciones eléctricas de media tensión.

Cuadro N° 1.1⁵. Causalidad de accidentes de terceros que involucran instalaciones de media tensión 2001 – 2006

Causalidad	Total		
	Fatal	No Fatal	General
Manipulación de palos, tubos, alambres u otros objetos cerca de LMT	29	52	81
Manipulación de varilla de construcción cerca de línea MT	35	38	73
Contacto accidental directo con LMT	13	31	44
Hurto en instalaciones de MT	25	14	39
Conductor caído de MT	4	17	21
Instalación, retiro o mantenimiento de Antenas de TV	6	7	13
Manipulación o trabajo en andamios cerca de LMT	6	8	14
Maniobra de maquinaria cerca de LMT	5	5	10
Instalación, retiro o mantenimiento de paneles publicitarios	4	4	8
Otros	4	5	9
Poda de árbol	4	1	5
Total	135	182	317

⁵ Gerencia de fiscalización eléctrica OSINERMIN

Capítulo 2

Normas de las distancias mínimas de seguridad

Debido a los accidentes presentados, falta de prevención e información hacia el usuario las autoridades reguladoras emitieron diferentes normas, procedimientos, etc. con la finalidad de contrarrestar los hechos ocurridos y evitar futuros incidentes.

A continuación se extraen diversos textos que describen las normas, códigos y/o informes emitidos en relación a las distancias mínimas de seguridad. Es de precisar que los textos son citas literales, con la finalidad de demostrar que cronológicamente hubo y hay límites de distancias mínimas de seguridad.

2.1. Código Nacional de Electricidad: Tomo IV (Mayo 1978).

2.1.1. Distancias mínimas de seguridad

Las distancias mínimas de seguridad deberán ser medidas entre las partes más cercanas en consideración.

El conductor neutro de un circuito deberá tener la misma separación como la de los conductores de fase del circuito al cual pertenecen.

Cuando los conductores neutros estén efectivamente puestos a tierra a lo largo de la línea y pertenezcan a circuitos con tensiones entre fases hasta los 15kV, podrán tener las mismas separaciones que los circuitos de 0-750 V entre fases. Los conductores eléctricos deberán guardar las distancias mínimas siguientes: entre conductores eléctricos y estructuras.

2.1.1.1. Entre conductores eléctricos

Conductores del mismo circuito instalados en postes fijos deben tener una separación vertical, horizontal o angular uno del otro, no menor que los valores requeridos señalados a continuación en (i) ó (ii) según la situación lo exija.

i) La separación mínima en sus postes y en cualquier punto del vano deberá ser la siguiente:

- Para tensiones inferiores o igual a 11000 V: 0.40 m*
- Para tensiones superiores a 11000 V: 0.40 m + 0.01 m/kV en exceso de 11 kV.*

ii) La separación mínima en metros a la mitad del vano debe ser el valor dado por las siguientes formulas. Si los requerimientos señalados en (i) proporcionan una separación mayor, éstas serán aplicadas:

- Para conductores menores de 35 mm²

$$0.0076U + 0.65\sqrt{f} - 0.60 \quad (2.1)$$

- Para conductores de 35 mm² ó mayores:

$$0.0076U + 0.37\sqrt{f} \quad (2.2)$$

Donde f es la flecha máxima en metros, sin viento y U es la tensión de la línea en kV.

2.1.1.2. A estructuras

Las distancias mínimas desde cada estructura, edificio, postes de líneas de comunicaciones o de energía, diferentes a la línea bajo consideración hasta cualquier posición que pueda alcanzar el conductor durante sus movimientos de meneo y ondulatorios, se dan en la Tabla 2-XIX (página 43, Código Nacional de Electricidad: Tomo IV) cuyos datos son:

Verticalmente encima de cualquier parte del techo o estructura similar, normalmente no accesible pero sobre la cual pueda pararse una persona **4.00 m.**

Verticalmente encima de cualquier techo o estructura similar, sobre la que no se pueda parar una persona **3.50 m.**

En cualquier dirección desde paredes planas u otras estructuras normalmente no accesibles **2.00 m.**

En cualquier dirección desde cualquier parte de una estructura normalmente accesible a personas incluyendo abertura de ventanas, balcones o lugares de estadía similares **2.50 m.**

De la estructura soportadora: La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y sus estructuras soportadoras no será inferior a $0.1 + U/150$ metros con un mínimo de 0.20 m donde U es la tensión nominal en kV.

2.2. Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001 (Julio 2001).

De la sección 23, correspondiente a las distancias de seguridad (página 107, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001) se describen:

2.2.1. Aplicación

Esta sección se ocupa de todas las distancias de seguridad, incluyendo los espacios de escalamiento, referidas a las líneas aéreas de suministro y comunicación implicadas.

Toda línea aérea nueva o ampliación (de titular o de tercero) deberá cumplir con el ancho mínimo de la faja de servidumbre y lo indicado en esta sección. Ver regla 219.B (página 94, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001).

No deberán instalarse líneas aéreas sobre edificaciones de terceros.

Excepción 1: Siempre hay soluciones técnicas dentro de lo práctico posible y cumpliendo con la seguridad, pero para el caso muy especial de instalaciones existentes, nuevas o ampliaciones de líneas aéreas de distribución de propiedad o responsabilidad del titular (no líneas particulares), en zonas urbano-rural, zonas rurales – donde existan limitaciones de espacio por la irregularidad y estrechez de los caminos, calles y vía de tránsito vehicular o impedimentos geográficos, y sólo para el caso de curvas cerradas o cruce de vías en las que existan muy pocas construcciones o edificaciones que no permitan cumplir con el ancho mínimo de las fajas de servidumbre- podrá obtenerse el derecho de servidumbre siempre y cuando se haya obtenido la opinión favorable del OSINERG (actualmente OSINERGMIN); y coordinado y compensado económicamente al propietario del predio afectado; y la instalación de la línea aérea deberá cumplir con las distancias de seguridad indicadas en la Sección 23 (página 107 “Distancias de Seguridad”, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001).

En estos casos - trimestralmente - el concesionario de la línea aérea deberá recordarle - por comunicación escrita- al propietario y residente del predio, los cuidados y limitaciones que tienen el propietario y el residente del predio para evitar riesgo eléctrico o accidente.

El propietario o el residente del predio afectado, luego del acuerdo y compensación correspondiente no podrán incrementar la altura de la edificación o realizar alguna acción que viole esta distancia de seguridad.

Excepción transitoria: En instalaciones de líneas aéreas de transmisión en cualquier zona o de distribución en zona urbana existentes de propiedad o responsabilidad del titular, que no cumplan con el ancho mínimo de faja de servidumbre, el titular deberá cumplir con las distancias mínimas de seguridad indicadas en la Sección 23, y luego acondicionadas a lo prescrito por este Código en el plazo coordinado con OSINERG que será definido de acuerdo a la prioridad de atención al riesgo de peligrosidad de la instalación.

No deberá utilizarse conductores desnudos para líneas de baja tensión.

Instalaciones permanentes y temporales Las distancias de seguridad establecidas en la Sección 23 se adoptan para las instalaciones permanentes y temporales.

2.2.2. Instalaciones de emergencia

Las distancias de seguridad establecidas en la Sección 23 pueden ser disminuidas en caso de instalaciones de emergencia, si es que se cumplen las siguientes condiciones.

Los conductores de suministro expuestos hasta 750 V y los cables de suministro que cumplan con lo dispuesto en la regla 230.C (página 109, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001); y los conductores y cables de comunicación, retenidas, mensajeros y conductores neutros que cumplan con la regla 230.E.1 (página 110, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001) deberán ser suspendidos a una distancia no menor de 6.5 m sobre áreas donde se espera el paso de camiones, o 4.5 m sobre áreas limitadas solamente a peatones o al tráfico restringido de vehículos donde no se espera el paso de vehículos durante un caso de emergencia, a menos que se indiquen distancias menores en la Sección 23. Para este fin, se definen como camiones a todos los vehículos cuya altura sobrepasa los 2.5 m. Las áreas no expuestas al tráfico de camiones son las áreas por donde el tráfico de camiones no es normal ni razonablemente esperado o

restringido de alguna otra forma. Los espacios y vías expuestas a peatones o al tráfico restringido son sólo aquellas áreas por donde se prohíbe el paso de jinetes montados en sus caballos, vehículos o otras unidades rodantes cuya altura sobrepase los 2.5 m por reglamento o debido a las configuraciones permanentes del terreno o de alguna otra forma no es común ni razonablemente esperado o restringido.

Se incrementará las distancias verticales de los conductores de suministro expuestos de más de 750 V sobre el valor aplicable de la regla 230.A.2. (página 107, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001) según sea adecuado para la tensión implicada y las condiciones locales determinadas.

Los cables de comunicación y suministro pueden extenderse directamente sobre los cruces si es que están protegidos o ubicados de alguna otra forma que no obstruyan de manera indebida el tráfico peatonal y vehicular y estén adecuadamente marcados. Los cables de suministro que operan a más de 600 V deberán cumplir con la regla 230.C o la regla 350.B (página 109, Código Nacional de Electricidad: Suministro 2001).

No se especifica ninguna distancia de seguridad para las áreas donde el acceso es restringido sólo para personal autorizado, pero no implica que no se respeten las distancias mínimas de seguridad para los trabajadores.

2.2.3. Medición de las distancias de seguridad y espacios

A menos que se indique lo contrario, todas las distancias de seguridad deberán ser medidas de superficie a superficie y todos los espacios deberán ser medidos de centro a centro. Para la medición de las distancias de seguridad, los accesorios metálicos normalmente energizados serán considerados como parte de los conductores de línea. Las bases metálicas de los terminales del cable, los pararrayos y dispositivo similares deberán ser considerados como parte de la estructura de soporte.

2.3. Norma de postes, crucetas y ménsulas de madera y concreto armado para redes de distribución

Esta norma se promulgó en Octubre de 1978 y aprobó mediante R.D. N° 324-78-EM/DGE 20.10.1978 Norma N° DGE 015-PD-1).

Con el objetivo de uniformizar las condiciones de aceptación y utilización de postes, crucetas y ménsulas en las redes de distribución por las empresas e instituciones del subsector electricidad el Ministerio de Energía y Minas emitió la presente norma.

Las prescripciones de esta norma son aplicables a los postes, crucetas y ménsulas de concreto armado y madera destinados a las redes del sistema de distribución primaria y secundaria.

Comprende lo siguiente:

- *Tipos y dimensiones*
- *Naturaleza y calidad de los materiales empleados*
- *Especificaciones técnicas de los postes, crucetas y ménsulas normalizados*
- *Pruebas*
- *Bases de compra*

2.3.1. Normas a consultar

<i>DGE 024-TE,</i>	<i>Terminología utilizado en los sistemas de transmisión y distribución.</i>
<i>DGE 016-AP,</i>	<i>Alumbrado público.</i>
<i>ITINTEC 339.027,</i>	<i>Postes de concreto armado para líneas aéreas.</i>
<i>ITINTEC 251.021,</i>	<i>Postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía. Glosario.</i>
<i>ITINTEC 251.022,</i>	<i>Postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía. Requisitos generales.</i>
<i>ITINTEC 251.023,</i>	<i>Postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía. Ensayo de rotura.</i>
<i>ITINTEC 251.024,</i>	<i>Postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía. Postes de eucalipto.</i>
<i>ITINTEC 251.019,</i>	<i>Preservación de la madera. Tratamiento preservadores.</i>
<i>ITINTEC 251.020,</i>	<i>Preservación de la madera. Clasificador de preservadores.</i>
<i>ITINTEC 251.025,</i>	<i>Preservación de la madera. Extracción de muestras de madera preservada.</i>
<i>ITINTEC 251.026,</i>	<i>Preservación de la madera. Penetración y retención de los preservadores en la madera.</i>
<i>ITINTEC 251.027,</i>	<i>Preservación de la madera. Valor tóxico y permanencia de preservadores de madera en condiciones de laboratorio.</i>

2.3.2. Tipos y dimensiones

- *Postes de concreto armado para uso en alumbrado público con alimentación subterránea:*

Cuadro N° 2.1⁶. **Postes de concreto armado para uso de alumbrado público**

Longitud total (m)	Carga de trabajo (kg)
*5	70
*6	70
7	70
8	70-100
9	70-100
11	100

* Postes con luminaria adosada verticalmente

⁶ Página 6 de DGE 015-PD-1

- *Postes de concreto armado para uso en redes de distribución aérea.*

Cuadro N° 2.2⁷. Postes de concreto armado para redes de distribución

Longitud total (m)	Carga de trabajo (kg)
8	100 – 200 - 300
9	100 – 200 – 300 - 400
10	100 – 200 – 300 – 400
11	100 – 200 – 300 – 400
12	100 – 200 – 300 – 400
13	100 – 200 – 300 – 400
14	100 – 200 – 300 – 400
15	100 – 200 – 300 - 400

2.4. Procedimiento de seguridad pública en media tensión

Este procedimiento se creo con el objetivo de identificación y subsanación de las deficiencias en las instalaciones eléctricas de media tensión relacionadas con la seguridad pública.

El cual tendrá un alcance de instalaciones eléctricas de media tensión (líneas y subestaciones) a cargo de los concesionarios de distribución, y una supervisión de las deficiencias que afectan la seguridad pública (las personas y propiedad).

2.4.1. Supervisión de la seguridad pública en instalaciones eléctricas de media tensión

2.4.1.1. Descripción:

- El concesionario, envía anualmente la base de datos del total del parque de sus instalaciones de media tensión.*
- Envía semestralmente la base de datos de las deficiencias identificadas (en base a las deficiencias tipificadas en el procedimiento) y avance de deficiencias subsanadas.*
- OSINERGMIN procesa la información obtenida, se obtiene la muestra representativa, planos y datos para la supervisión de campo.*
- Existen definidas dos tipos de deficiencias: Riesgo Moderado y Alto.*
- Las sanciones se aplican en los siguientes casos:*

- *Deficiencias de riesgo Alto No Reportadas y*
- *Deficiencias no subsanadas de riesgo alto priorizadas por causalidad de accidentes (14 deficiencias) Resolución OSINERG N°011-2004-OS/CD*

2.4.1.2. Tipificación de deficiencias:

- Deficiencia es el estado en el cual un componente del punto fiscalizable no cumple con las especificaciones de la normativa vigente, afectando la seguridad pública.*
- La deficiencia tipificada es aquella deficiencia codificada de un componente asociado a un punto fiscalizable.*
- Riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (natural o tecnológico) potencialmente dañino, de una magnitud dada y por un periodo específico.*

⁷ Página 7 de DGE 015-PD-1

d). *Niveles de riesgo:*

- *Riesgo Alto: Condición de las instalaciones que compromete poniendo en inminente peligro la seguridad pública.*
- *Riesgo Moderado: Condición de las instalaciones que compromete la seguridad pública, no identificada como riesgo alto.*

En el cuadro N° 2.4 se puede observar un resumen de los niveles de riesgo registrados en las diferentes empresas eléctricas.

2.4.1.3. Deficiencias reportadas

Cuadro N° 2.3⁸. Porcentajes de riesgo

Estado	Riesgo Alto		Riesgo Moderado		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Pendientes	140117	75.12%	43059	77.99%	183176	75.77%
Subsanadas	44708	23.97%	11802	21.38%	56510	23.38%
Con previsión para evitar accidentes	1707	0.92%	353	0.64%	2060	0.85%
Total	186532	100.00%	55214	100.00%	241746	100.00%
Participación	77.16%		22.84%		100.00%	

2.4.1.4. Resultados del procedimiento N° 011-2004-OS/CD (II semestre 2006)

Cuadro N° 2.4⁹. Resultados del procedimiento N° 011-2004-OS/CD a las empresas eléctricas

Empresa	Riesgo Alto			Riesgo Moderado			Totales Generales		
	Pendientes	Subsanadas	Totales	Pendientes	Subsanadas	Totales	Pendientes	Subsanadas	Total
Edecañete	1238	896	2134	303	356	659	1541	1252	2793
Edelnor	7996	12301	20297	1117	1372	2489	9113	13673	22786
Electro Oriente	1823	992	2815	826	409	1235	2649	1401	4050
Electro Puno	1353	304	1657	128	32	160	1481	336	1817
Electro Sur Este	22421	3680	26101	7399	1033	8432	29820	4713	34533
Electro Sur Medio	3749	1419	5168	2541	1091	3632	6290	2510	8800
Electro Ucayali	1423	630	2053	194	277	471	1617	907	2524
Electrocentro	38816	2649	41465	10582	913	11495	49398	3562	52960
Electronoroeste	7683	1324	9007	1434	1095	2529	9117	2419	11536
Eléctronorte	12733	7382	20115	5997	2712	8709	18730	10094	28824
Electrosur	7938	6500	14438	3144	1492	4636	11082	7992	19074
Hidrandina	16663	1116	17779	5432	300	5732	22095	1416	23511
Luz del Sur	10498	2787	13285	2861	260	3121	13359	3047	16406
Seal	5783	4435	10218	1101	813	1914	6884	5248	12132
Total	140117	46415	186532	43059	12155	55214	183176	58570	241746

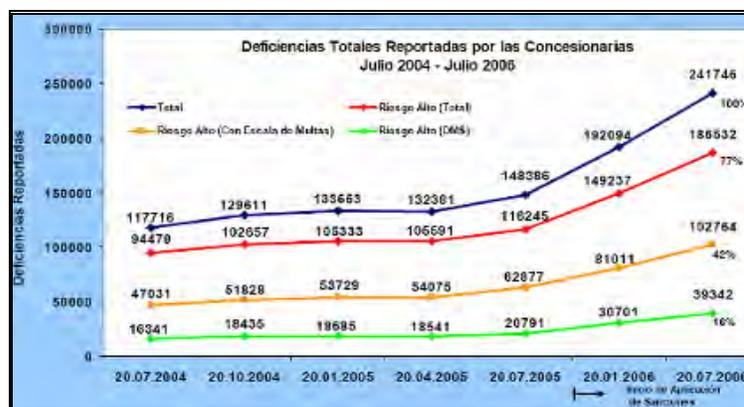


Figura 2.1¹⁰. Estadística de deficiencias

^{8, 9, 10} Gerencia de fiscalización eléctrica OSINERGMIN

2.4.1.5. Deficiencias por incumplimiento distancias de seguridad a edificaciones, letreros (II Semestre 2006)

Cuadro N° 2.5¹¹. Deficiencias incumplidas relacionadas a las distancias de seguridad

Empresa	Concesionario	Tercero	Total
Edecañete	218		218
Edelnor	1707	1464	3171
Electro Oriente	1145	7	1152
Electro Puno	741	18	759
Electro Sur Este	2195		2195
Electro Sur Medio	689	214	903
Electro Ucayali	448	8	456
Electrocentro	5629	309	5938
Electronoroeste	1273	77	1350
Eléctronorte	4003	1	4004
Electrosur	1159	28	1187
Hidrandina	1756	1362	3118
Luz del Sur	602	135	2532
Seal	1870	3	1873
Total	26926	3626	28856

2.4.1.6. Alcances

Para la supervisión de las empresas de distribución se han identificado a nivel nacional las siguientes cantidades de Puntos Fiscalizables:

Cuadro N° 2.6¹². Puntos fiscalizables

Puntos fiscalizables	Cantidad
Longitud de red aérea de media tensión (TMT)	35,726 km.
Subestaciones de distribución (SED).	43,624 unid.
Estructuras de media tensión (EMT).	301,429 unid.

2.5. Reglamento nacional de edificaciones (D.S. N° 011-2006-vivienda 08/05/06)

Del Capítulo II del reglamento nacional de edificación, relación de la edificación con la vía pública.

Artículo 6.- Cuando el Plan Urbano Distrital lo establezca existirán retiros entre el límite de propiedad y el límite de la edificación. Los retiros tienen por finalidad permitir la privacidad y seguridad de los ocupantes de la edificación y pueden ser frontales, laterales y posteriores. Los planes establecen las dimensiones mínimas de los retiros. El proyecto a edificarse puede proponer retiros mayores.

Artículo 7.- Los retiros no tienen por finalidad el ensanche de vías, salvo que el Plan de Desarrollo Urbano Provincial establezca específicamente que se tiene previsto el ensanche de la(s) vía(s) en que se ubica el predio materia del proyecto de la edificación, en cuyo caso esta situación deberá estar indicada en el Certificado de Parámetros Urbanísticos y Edificatorios.

^{11, 12} Gerencia de fiscalización eléctrica OSINERGMIN

Artículo 8.- Los retiros frontales pueden ser empleados para:

- *La construcción de gradas para subir o bajar medio piso*
- *La construcción de cisternas para agua y sus respectivos cuartos de bombas*
- *La construcción de casetas de guardianía y su respectivo baño*
- *Estacionamientos vehiculares techados o sin techar*
- *Estacionamientos en semisótano, cuyo nivel superior del techo no sobrepase 1.50 m por encima del nivel medio de la vereda frente al lote*
- *Cercos delanteros opacos*
- *Muretes para medidores de energía eléctrica o gas*
- *Techos de protección para el acceso de personas*
- *Escaleras a pisos superiores, independientes, cuando estos constituyan ampliaciones de la edificación original*

Artículo 11.- Los voladizos tendrán las siguientes características:

- *En las edificaciones que no tengan retiro no se permitirá voladizos sobre la vereda, salvo que por razones vinculadas al mantenimiento del perfil urbano el plan urbano distrital establezca la posibilidad de ejecutar balcones, voladizos de protección para lluvias, cornisas u otros elementos arquitectónicos cuya proyección caiga sobre la vía pública.*
- *Se puede edificar voladizos sobre el retiro frontal hasta 0.60 m., a partir de 2.30 m de altura. Voladizos mayores, exigen el aumento del retiro de la edificación en una longitud equivalente.*
- *No se permitirán voladizos sobre retiros laterales y posteriores mínimos reglamentarios, ni sobre aquellos cuya finalidad sea el ensanche de vía.*

Capítulo 3

Análisis de esfuerzos a estructura acoplada a poste de concreto armado centrifugado

El objetivo del presente trabajo es la determinación de las posibles fallas en las estructuras acopladas a los postes de CAC que se colocan para obtener la distancia mínima de seguridad. Las cargas principales sobre estas estructuras son los pesos de los cables que soporta. También se tendrá en cuenta el diseño para mantenimiento de las líneas de media tensión, en la cual una persona permanecerá apoyada en esta estructura.

Para este análisis se tendrá en cuenta algunas consideraciones: área de apoyo de la estructura, distancia de vano y la aplicación del peso de una persona (condición de mantenimiento).

3.1. Análisis no lineal de estructuras

La gran mayoría de los sistemas estudiados en el campo de la ingeniería son de tipo no lineal. De acuerdo a las características y condiciones que presente cierto sistema se puede simplificar el análisis y tratarlo como un sistema lineal, y, en muchos casos tendrá resultados satisfactorios. En otros casos, el simplificar el problema y tratarlo como lineal puede generar un error considerable.

Existen dos tipos de no linealidad de estructuras: no linealidad geométrica y no linealidad en el comportamiento de los materiales.

3.1.1. No linealidad geométrica

Una estructura presenta no linealidad de tipo geométrico cuando, bajo la acción de las cargas aplicadas, las deformaciones en los elementos que la componen conllevan desplazamientos importantes. Estos desplazamientos hacen variar la configuración geométrica de la estructura y, por tanto, la rigidez del conjunto, como se aprecia en la figura 3.1.

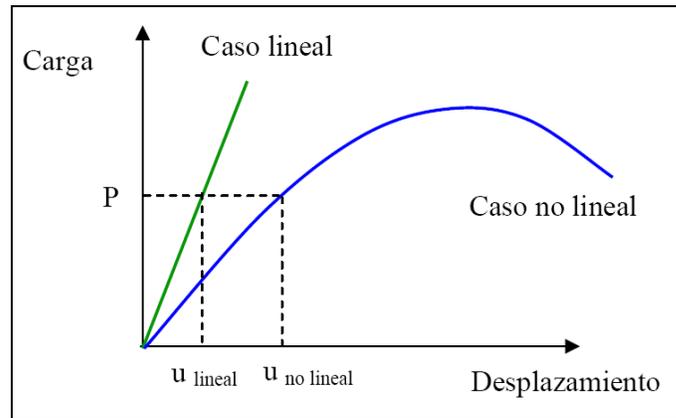


Figura 3.1. Comparación de los procesos de carga: caso lineal y el caso no lineal

3.1.2. No linealidad material

El comportamiento de los materiales en la ingeniería de estructuras es frecuentemente descrito por las relaciones esfuerzo-deformación. Un material como el acero sigue una ley esfuerzo-deformación proporcional hasta un determinado valor de esfuerzo. A partir de dicho valor, llamado esfuerzo de fluencia, el comportamiento del material es no lineal, es decir, la relación entre el esfuerzo y la deformación del material no es proporcional, con lo cual el esfuerzo se expresa como una función de la deformación, esto es $\sigma = f(\epsilon)$.

a. Modelo básico elástico lineal

Un resorte lineal es análogo al modelo básico elástico Hookeano. Este exhibe una respuesta instantánea frente a la carga y una constante proporcional entre los esfuerzos y las deformaciones. Esta constante proporcional es el llamado módulo de Hooke, E , y la relación $\sigma = E\epsilon$ se conoce como la *ley de Hooke*.

La deformación es completamente reversible después de la descarga, por lo cual, tales materiales tienen una “memoria perfecta”. Más precisamente, el material conoce perfectamente su estado inicial y su estado actual, pero olvida cualquier cosa entre ellos.

b. Modelo elástico no lineal

Las extensiones dentro de la elasticidad no lineal, de forma análoga con un resorte no lineal, puede ser formulada de varias formas. El más simple utilizado es el llamado de *formato total*, donde los esfuerzos y las deformaciones son definidas en términos del módulo secante de elasticidad.

Otra posibilidad es formular la ley del material elástico no lineal en términos de un formato *diferencial ó hipoelástico*, donde el módulo tangencial de elasticidad E_t define la relación entre los incrementos (o cambios) de esfuerzos y deformaciones.

Como la misma curva de respuesta experimental de material ($\sigma - \epsilon$) puede ser interpretada en el formato total o diferencial, es claro que existe una relación simple como se muestra en la figura 3.2 entre el módulo tangencial y el módulo secante, tal que:

$$E_t = E_s + \dot{E}_s \epsilon \quad (3.1)$$

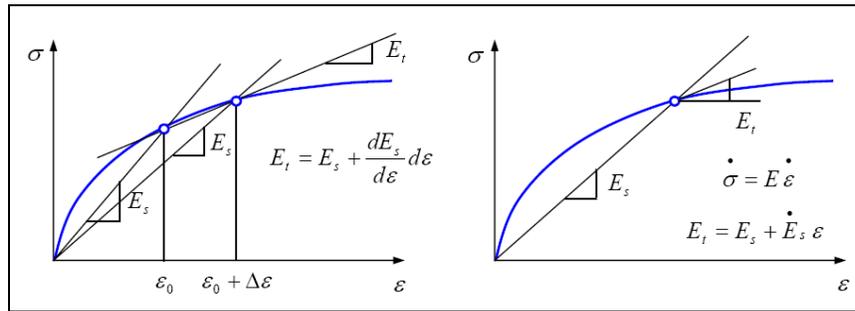


Figura 3.2. Formato total y diferencial para un modelo no lineal elástico

Si, por ejemplo $\sigma = f(\epsilon)$ es definido por una parábola de segundo orden como se muestra en la figura 3.3, con módulo inicial E y el máximo valor de la respuesta se alcanza en ϵ_0 , entonces tenemos que:

$$\sigma = f(\epsilon) = E\epsilon - \frac{E\epsilon^2}{2\epsilon_0} \quad (3.2)$$

$$E_s = E[1 - (\epsilon/2\epsilon_0)] \quad (3.3)$$

$$E_t = E[1 - (\epsilon/\epsilon_0)] \quad (3.4)$$

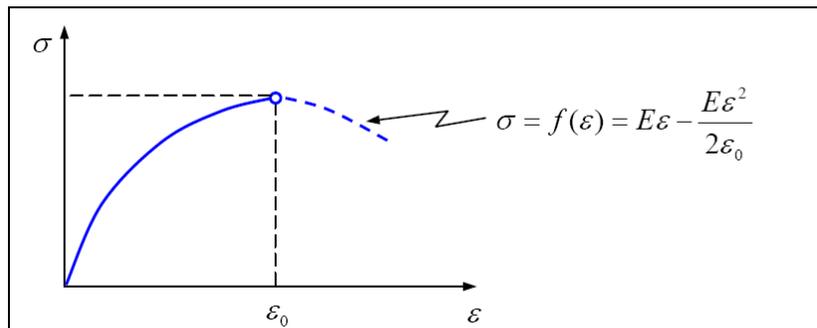


Figura 3.3. Curva $\sigma - \epsilon$ definido como una parábola de segundo orden

La ley del material elástico no lineal puede ser formulado en términos del *formato integral* (*hiperelástico o formato de Green*), el cual asume la existencia de una densidad de energía de deformación como una función U , o la correspondiente densidad de energía complementaria como una función de Z , tal que en cualquier nivel:

$$\sigma = dU/d\varepsilon \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = dZ/d\sigma \quad (3.5)$$

Para la curva de respuesta de un material uniaxial dado ($\sigma - \varepsilon$), U y Z en efecto corresponden a las áreas entre la curva y el eje ε o el eje σ respectivamente, ver figura 3.4. Aquí se ve claramente que para un modelo lineal elástico U es igual a Z , mientras que esto no se cumple para el caso no lineal elástico.

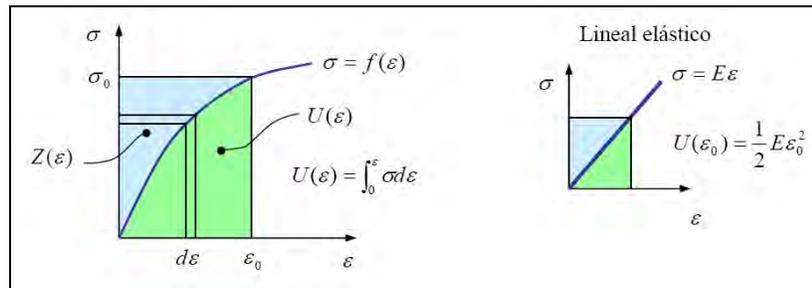


Figura 3.4. Formato integral 'hiperelástico' para elasticidad no lineal

Como un ejemplo, supongamos que el resultado del experimento uniaxial pueda ser ajustado a la ley $\varepsilon = a\sigma^n$, entonces:

$$U = \int_0^\varepsilon dU = \int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon = \int_0^\varepsilon \sigma (na\sigma^{n-1}) d\sigma = \sigma\varepsilon \left[\frac{n}{(n+1)} \right] \quad (3.6)$$

$$Z = \int_0^\sigma dZ = \int_0^\sigma \varepsilon d\sigma = \int_0^\sigma a\sigma^n d\sigma = \frac{\sigma\varepsilon}{(n+1)} \quad (3.7)$$

Aquí, la razón de U y Z es constante en cualquier nivel, $U/Z = n$.

Afortunadamente todas estas consideraciones las asume el software que realiza el análisis y son totalmente transparentes al usuario. El usuario deberá definir las cargas y las restricciones y saber como ingresarlas al software de diseño.

3.2. Cálculo del peso del conductor

Para este cálculo se usará las características de los conductores eléctricos de cobre, siendo este uno de los utilizados en los distanciadores.

Cuadro N° 3.1¹³. Características técnicas del conductor

ESPECIFICACIONES DE CABLES - mm ²								
CALIBRE	N° HILOS	DIAMETRO HILO	D. CONDUCTOR	PESO	RECOCIDO	DURO		CAPACIDAD DE CORRIENTE
					R.ELÉCTRICA	R. TRACCION	R.ELÉCTRICA	
mm ²		mm	mm	Kg/Km	Ohm/Km	KN	Ohm/Km	A(*)
6	7	1.04	3.1	54	3.02	2.4	3.14	77
10	7	1.35	4.0	91	1.79	4.0	1.87	106
16	7	1.7	5.1	144	1.13	6.3	1.17	141
25	7	2.13	6.4	226	0.71	10	0.741	188
35	7	2.51	7.5	314	0.514	13.6	0.534	229
50	19	1.77	8.9	424	0.38	18.8	0.395	277
70	19	2.13	10.7	614	0.263	26.9	0.273	348
95	19	2.51	12.6	852	0.189	36.9	0.197	425
120	37	2.02	14.1	1075	0.15	47.9	0.156	495
150	37	2.24	15.7	1320	0.122	58.1	0.126	558
185	37	2.52	17.6	1582	0.106	72.2	0.101	642
240	61	2.25	20.3	2109	0.0801	95.8	0.0769	760
300	61	2.52	22.7	2759	0.0601	119	0.0613	874
400	61	2.85	25.7	3529	0.047	150.2	0.0479	1018
500	61	3.20	28.8	4449	0.0366	189.4	0.0373	1175

(*) TEMPERATURA EN EL CONDUCTOR 75°C
 TEMPERATURA AMBIENTE 30°C
 VELOCIDAD DEL VIENTO 2Km/H

Para el cálculo del peso del conductor que soportará el pin, se tendrán algunas consideraciones críticas.

- Se usará cobre de 70 mm².
- Para una estructura que tenga tres vanos (100 m, 100 m y 30 m).
- El vano Frontal será un vano muerto (solo habrá peso).

Por ubicación de los conductores se tendrá una longitud equivalente de 130 m de conductor, con cual el peso a soportar por el pin será:

$$(kg/km) * km = kg \quad (3.8)$$

$$641(kg/km) * 0.130(km) = 79.82 kg. \quad (3.9)$$

Para efectos del análisis se considerará 80 kg como peso crítico en cada pin.

3.3. Supervisión de la seguridad pública en instalaciones eléctricas de media tensión

Del numeral 6.3 del Procedimiento N° 011-2004-OS/CD en la cual se modifica con Resolución OSINERG N° 154-2005-OS/CD, se realizó un estudio para encontrar las deficiencias de Riesgo Alto en la que el concesionario adopte las medidas preventivas (Art. 17 del RSHOSE), la deficiencia quedará temporalmente en condición de Riesgo Moderado, como se estipula en el Artículo 17° del RSHOSE, incisos:

- b. *Se recubrirá las partes activas con aislamiento apropiado, que conserve sus propiedades indefinidamente y que limite la corriente de contacto a un valor inocuo.*

¹³ INDECO

- c. Se colocará obstáculos que impidan todo contacto accidental con las partes vivas de la instalación. Los obstáculos de protección deben estar fijados en forma segura; y, deberán resistir los esfuerzos mecánicos usuales.

3.4. Medidas preventivas

En las zonas con problemas de DMS que fueron determinadas mediante un estudio particular por las concesionarias se han utilizado

- cables subterráneos para zona de mayor densidad y,
- conductor preensamblado (o autoportante) para las restantes zonas en el caso de ser necesarias por las dimensiones reducidas de veredas.

Pero en otras casas se han tomado medidas preventivas como:

3.4.1. Mantas aislantes

Una de las alternativas en la cual influye la reducción de los costos operativos, con mínima inversión y bajo el concepto del aislamiento térmico se fabrica, de un material fibroso flexible, con una densidad y grosor determinado para ser colocado en estructuras ligeras, ya sean curvas o irregulares; dependiendo de las estructuras a cubrir en la siguiente figura se puede observar. Una cubierta en espiral para conductores eléctricos como se ilustra en la figura 3.5.

C406-0082

C406-0040
El Adaptador Grip-All está disponible como accesorio y es intercambiable con los mangos de Epoxiglas.

Sección Transversal

Las unidades de 15/36,6 kV tienen ranuras para encajar sobre aisladores de 15 kV.

Cubiertas en Espiral para Conductor

hasta 15/36,6 kV y 46 kV Entre Fases

- Probadas según ASTM F712.
- Fabricadas según especificaciones ASTM F968.

Un mango retráctil de Epoxiglas® de 4 ó 6 pies de largo permite su fácil instalación desde una canastilla o plataforma, en unidades individuales o eslabonadas. Esta cubierta color naranja brillante es fácil de instalar y brinda protección extra con un ancho espacio de aire entre dos espesores de aislamiento sólido. La cubierta es de plástico ABS fuerte y duradero. El largo total de cada cubierta es de 53 pulgadas. Se pueden entrelazar para formar una cadena protectora. Las unidades de 15/36,6 kV están conformadas en sus extremos para admitir la mayoría de los aisladores de 15kV, haciendo innecesario el montaje de una cubierta para aislador. Cada cubierta para cruceta doble puede cubrir dos aisladores a perno de 15kV.

No. de Cat.	Tipo de Accesorio	Peso
Unidades para 46 kV entre fases		
C406-0082	Mango de Epoxiglas de 4'	10½ lb/4,7 kg
C406-0082-6	Mango de Epoxiglas 6'	11½ lb/5,2 kg
C406-0082GA	Adaptador para Grip-All	9½ lb/4,3 kg
Unidades para Cruceta Simple de 15/36,6 kV entre fases		
C406-0083	Mango de Epoxiglas de 4'	9½ lb/4,1 kg
C406-0083-6	Mango de Epoxiglas 6'	10½ lb/4,5 kg
C406-0083GA	Adaptador para Grip-All	8½ lb/3,6 kg
Unidades para Cruceta Doble de 15/36,6 kV entre fases		
C406-0084	Mango de Epoxiglas de 4'	9 lb/4,1 kg
C406-0084-6	Mango de Epoxiglas 6'	10 lb/4,5 kg
C406-0084GA	Adaptador para Grip-All	8 lb/3,6 kg

Figura 3.5¹⁴. Mantas aislante

¹⁴ Productos RAYCHEM

Asimismo, en las foto 3.1 y 3.2 podemos ver la aplicación de estas mantas a las líneas energizadas. Del mismo modo, estas se encuentran a diferentes distancias dependiendo la disposición (vertical / horizontal).



Foto 3.1. Uso de mantas aislantes 1



Foto 3.2. Uso de mantas aislantes 2

3.4.2. Distanciadores de línea

Otra de las alternativas correspondiente a las DMS (Distancias Mínimas de Seguridad), son los distanciadores de línea, los cuales permiten alejar el conductor eléctrico de las estructuras cercanas para mantener las tolerancias correspondientes a las DMS.

A continuación en las fotos 3.3 y 3.4 se aprecian algunos tipos de estructuras diseñadas empíricamente, con el fin de alejar el conductor eléctrico según las indicaciones de los entes fiscalizadores.



Foto 3.3. Tipo de distanciadores 1



Foto 3.4. Tipo de distanciadores 2

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento de la estructura que se muestra en las fotos 3.5 y 3.6 en las condiciones ya existente.



Figura 3.5. Estructura para analizar



Foto 3.6. Posición del conductor y aisladores

3.5. Diseño del distanciador de línea

Luego del uso y solicitud de la fabricación en serie de los distanciadores y a la vez justificar los gastos de construcción de los mismos, los talleres se vieron obligados a presentar informes del proceso y material de construcción de ménsula y distanciadores de línea (Anexo B). A la fecha hay más de un diseño para lograr el objetivo de las DMS pero en general estos no tienen estudio y/o análisis de esfuerzos de las nuevas estructuras acopladas a los postes de concreto armado.

3.6. Análisis de esfuerzos del distanciador de línea

Para el análisis de esfuerzos en los distanciadores se utilizará el software SolidWorks, en el cual se tendrán algunas consideraciones en el diseño acercando a las condiciones reales. A continuación se describe las condiciones de apoyo del conductor y los aisladores utilizados; además, se tendrá en cuenta el área de apoyo de la arandela soldada al distanciador y el poste de concreto.

3.6.1. Apoyo del distanciador y el poste

De las fotos 3.7 y 3.8 se pudo evidenciar que la arandela soldada al distanciador no se encuentra a un 100% de contacto con el poste de concreto, esto se tendrá en cuenta a la hora del desarrollo en el software.



Foto 3.7. Área de apoyo entre arandela y poste 1



Foto 3.8. Área de apoyo entre arandela y poste 2

3.6.2. Posición de apoyo del conductor en el distanciador

De la foto 3.9 se observa que posición de estos distanciadores son utilizados en gran mayoría en una posición de línea pasante, con la finalidad de disminuir esfuerzos. Pero esto no significa que tengan estructuras como fin o inicio de línea.

Para la simulación el software se usará posiciones críticas donde se tenga un mayor peso en el punto de apoyo de línea.



Foto 3.9. Posición pasante del conductor y los aisladores sujetos a los distanciadores

3.6.3. Diseño del distanciador

Para el diseño de los distanciadores de línea se ha tenido en cuenta el porcentaje de área en contacto con el poste de concreto. Tal como se aprecia en la foto 3.8, es por eso que para la simulación se ha considerado la mitad de esta área de la arandela como de señal en la figura 3.7 y no la arandela completa según la figura 3.6.

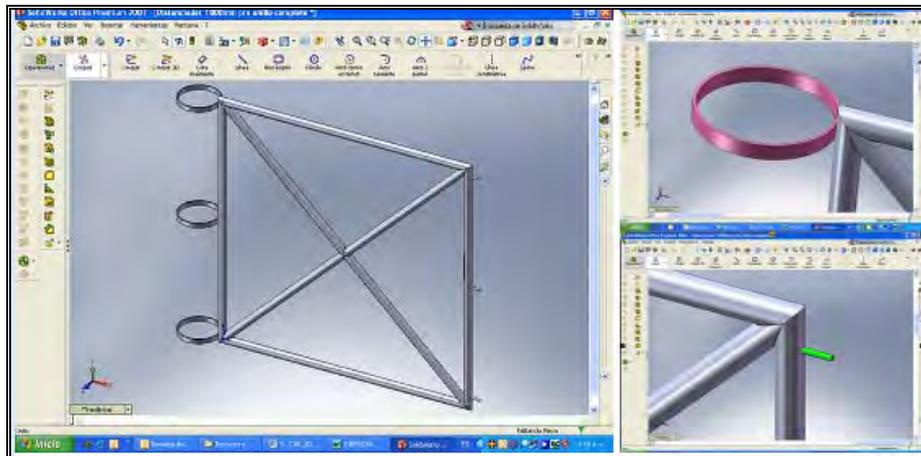


Figura 3.6. Diseño de arandela completa

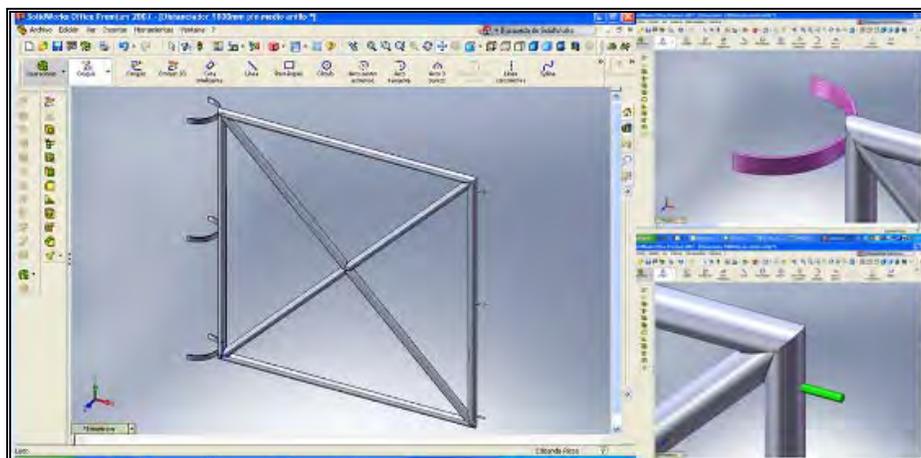


Figura 3.7. Diseño de semi arandela

3.6.4. Análisis de esfuerzos

De la simulación en el software SolidWorks se consideraron dos condiciones a tener en cuenta y poder obtener resultados significativos.

3.4.4.1. Condiciones 1:

- Contacto total de semi anillo (situación encontrada)
- Tubería de diámetro nominal 2" (anexo B)
- Pines de mayor diámetro 14 mm (según espiga de aislador)
- Cordón de soldadura (radio de redondeo) 2.5 mm (aproximado)
- Resultados para carga: cables = 80 kg en cada pin (condición crítica)

Para la estructura a analizar se usará una tubería schedule 20 (diámetro nominal 2", diámetro exterior 2.375" y espesor 0.109").

En relación a la condición 1, los resultados obtenidos son:

i. Esfuerzos

En la figura 3.8 se visualiza, mediante la señalización de colores sobre la estructura, que la semi arandela y la estructura principal no tienen signos de estar cerca al límite elástico (3.51×10^8). A diferencia de los pines se encuentran en otra escala de colores.

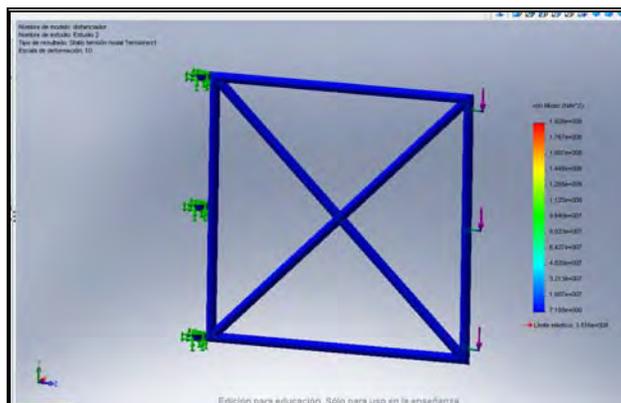


Figura 3.8. Resultado de esfuerzos

ii. Deformaciones

De la figura 3.9 y para el diámetro seleccionado; podemos manifestar que en las puntas de los pines que forman parte del distanciador, se encuentran en un grado de formación a tener en cuenta (deformaciones del orden de 2.985×10^{-4} m).

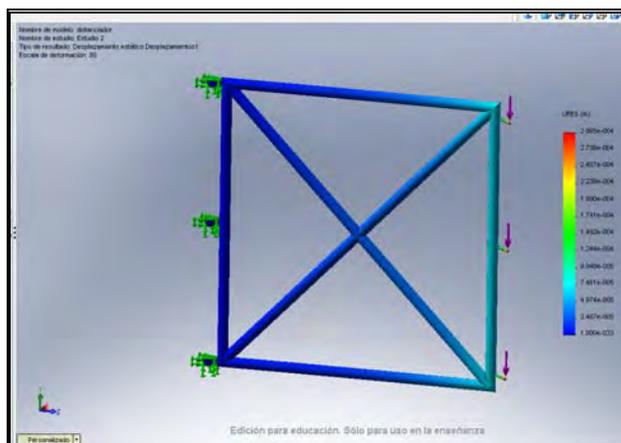


Figura 3.9. Resultado de deformaciones

Si bien es cierto el orden de deformación es pequeño, pero para aplicación del diseño y ante una posible falla, es posible que ocurran perjuicios donde se involucre la salud humana.

Otro punto a tener en cuenta, considerando los resultado, es la parte de contacto entre la punta del pin (enroscada) dentro del aislador donde tiene una cavidad de plomo, siendo este último deteriorado tanto por la presión y la nueva posición a la cual se le está sometiendo el aislador (posición horizontal).

iii. Factor de seguridad

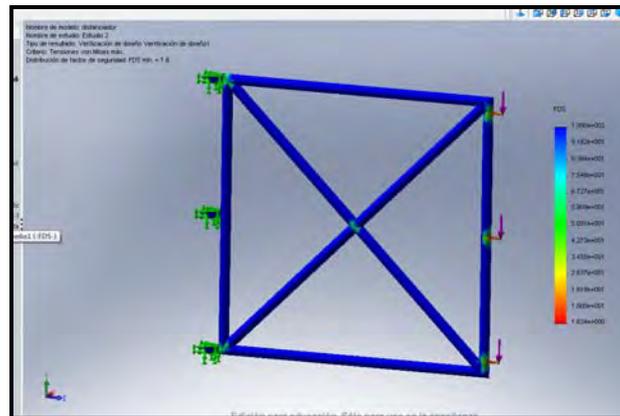


Figura 3.10. Factor de seguridad

Gracias a la figura 3.10 podemos afirmar que el factor de seguridad al cual esta sometido el distanciador es de 1.8, siendo las zonas con factor de seguridad más bajo las cercanas a los pines.

3.4.4.2. Condiciones 2:

- Contacto total de semi anillo (situación encontrada)
- Tubería de diámetro nominal 2" schedule 20 (anexo B)
- Pines de mayor diámetro 14 mm (según espiga de aislador)
- Cordón de soldadura (radio de redondeo) 2.5 mm (aproximado)
- Resultados para carga: cables = 80 kg en cada pin, (condición crítica)
- Adicionalmente se colocará 80 kg en extremo de estructura (peso de una persona)

Para la estructura de análisis se usará un material schedule 20 (lista de materiales del software).

En relación a la condición 2, los resultados obtenidos son:

i. Factor de seguridad

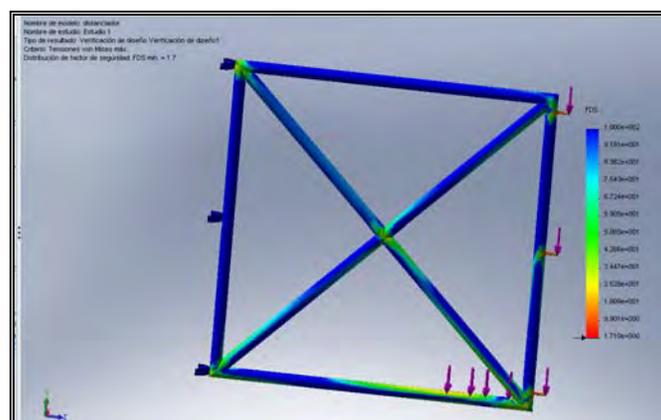


Figura 3.11. Factor de seguridad

Ante los resultados obtenidos en la figura 3.11, podemos verificar que el factor de seguridad disminuye a 1.7 con lo cual se verifica que no disminuye considerablemente.

Para hacer un análisis más minucioso se hace una separación de las partes del distanciador en la cual tiene un factor de seguridad menor a 9.5. En esta ayuda del SolidWorks podemos visualizar que ya aparecen zonas como las uniones soldadas tanto al tubo de 2" como la soldadura de la arandela a la estructura. Esto se puede apreciar en la figura 3.12.

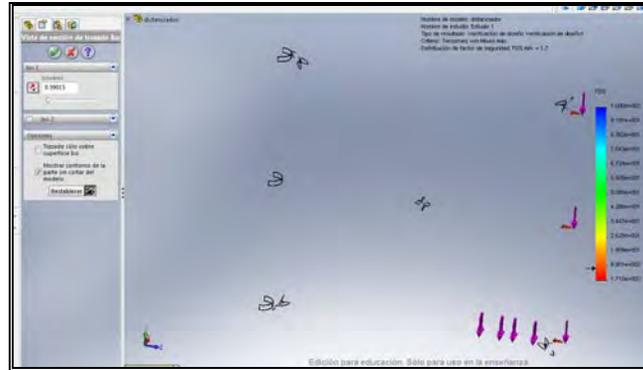


Figura 3.12. Análisis del factor de seguridad

Si realizamos una ampliación, figura 3.13, a la parte baja interior podemos visualizar lo comentado en el párrafo anterior. Donde se aprecia que parte de la soldadura de la zona inferior izquierda de la estructura se encuentra dentro del límite de factor de seguridad 9.5. Consecuentemente esta apreciación nos lleva a colocar a la soldadura dentro de los criterios importantes a la hora de diseñar este tipo de estructuras.



Figura 3.13. Análisis de soldadura

Con la finalidad evaluar una estructura y pines más robustos se desarrollo un análisis, figura 3.14, con las siguientes características:

- Contacto total de semi anillo
- Tubería de diámetro nominal 2" schedule 20
- Pines de mayor diámetro 25 mm
- Cordón de soldadura (radio de redondeo) 1/8" (aprox. 31.75 mm)
- Resultados para carga: cables = 80 kg en cada pin (condición crítica)
- Adicionalmente se colocará 80 kg en extremo de estructura (peso de una persona)

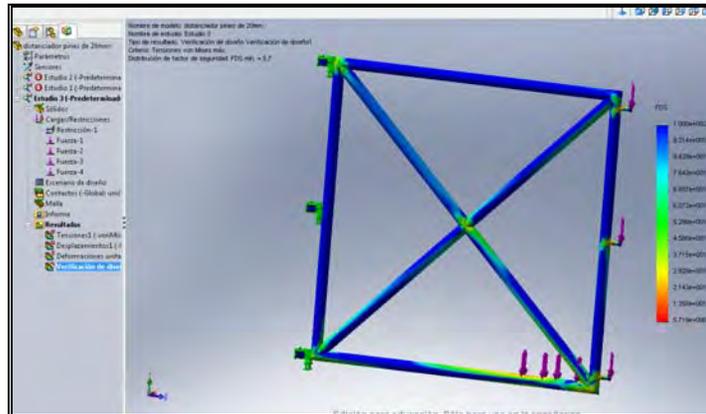


Figura 3.14. Análisis con pines de 25 mm de diámetro y cordón de soldadura (radio de redondeo 1/8")

Ante este nuevo análisis podemos obtener resultados como: un factor de seguridad de 5.7 (en comparación al 1.7 de la figura 3.11), la distribución de este FS guarda estrecha similitud con los anteriores análisis. En consecuencia podemos mencionar que la zona crítica sigue siendo los pines donde sujeta el conductor eléctrico y como es sabido ante una falla de éste podría ocasionar perjuicios humanos.

De la inspección realizada en algunas estructuras analizadas podemos visualizar las afirmaciones encontradas con el software SolidWorks, como se aprecia en la foto 3.10.

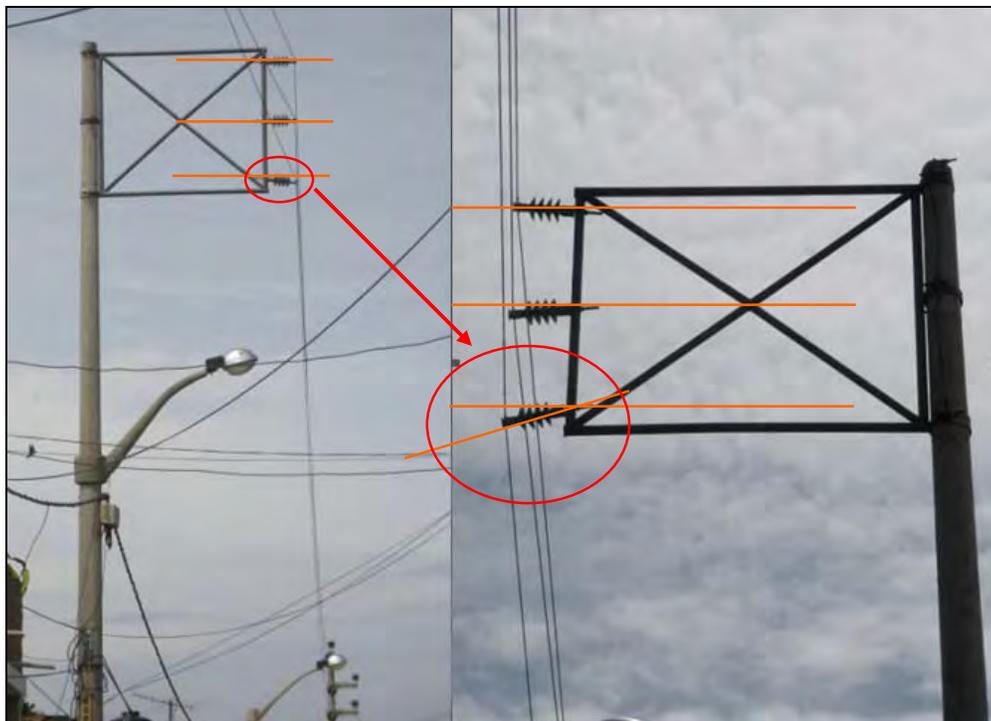


Foto 3.10¹⁵. Inclinación de pin en distanciador de línea

¹⁵ Estructura instalada en la ciudad de San Pedro de Lloc – Pacasmayo – La Libertad

Conclusiones

1. La totalidad de los usuarios del consumo eléctrico no cuentan con un conocimiento exacto de la peligrosidad y las DMS exigidas para prevenir accidentes. y para subsanarlas de manera preventiva y definitiva. los concesionarios deberán hacer grandes esfuerzos
2. Sí existen límites de DMS, desde el año 1978, que exponen tanto al usuario como a los responsables de la distribución de la energía eléctrica, con la finalidad de evitar accidentes físicos y materiales.
3. Con ayuda del software SolidWorks. se puede identificar que son los pines los lugares a tener en cuenta, siendo estos los puntos más propensos a falla.
 - 3.1. Es de mencionar que la manera de sujeción de la estructura a los postes mediante arandelas no es el más adecuado, debido a que la superficie de apoyo es menor por la conicidad que tienen los postes. Se debería poner énfasis en esta parte y pedir que la forma de las arandelas se asemeje más a la de los postes de forma que se garantice una mayor superficie de contacto entre arandelas y postes.
 - 3.2. Se puede concluir que son los pines los más propensos a una posible falla, a diferencia de la estructura (distanciador) el cual se encuentra trabajando a un Factor de Seguridad cercano a 10.
 - 3.3. Se evidencia que la soldadura también tiene un papel importante en la estructura, tal es el caso del cordón de soldadura en la parte baja e inferior de la estructura.

Recomendaciones

Aunque la información se divulga a través de los recibos de energía. esta actividad se debe hacer siguiendo un propósito / metas. U.na alternativa podría ser incrementar la información durante la enseñanza escolar.

Las estructuras actuales trabajan con un factor de seguridad de 1.7 (zona de pines) y teniendo en cuenta que trabajarán bajo condiciones de perjuicio humano (ante una falla), no sería el más adecuado. En consecuencia, es de recomendar un diámetro mayor de pines para aumentar el FS como se ha demostrado con la última simulación.

Bibliografía

1. Ministerio de Energía y Minas. (1978). "Código nacional de electricidad: Tomo IV". *El Peruano*. Lima Mayo 1978.
2. Ministerio de Energía y Minas. (1978). "Norma de postes, crucetas y ménsulas de madera y concreto armado para redes de distribución. DGE 015-PD-1". *El Peruano*. Lima Octubre 1978.
3. Ministerio de Energía y Minas. (2001). "Código nacional de electricidad Suministro". *El Peruano*. Lima Julio 2001.
4. INDECOPI. (2002). "Hormigón (concreto). Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas NTP 339.027". 2° ed. Marzo 2002
5. Ministerio de Energía y Minas. (2003). "Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de líneas y redes primarias para electrificación rural diciembre". *El Peruano*. Lima Diciembre 2003.
6. OSINERGMIN. (2003). "Proyecto especial de distancias mínimas de seguridad (DMS)". *El Peruano*. Lima Mayo 2004.
7. Buameister, Theodore. Avallone, Eugene A. (1978). *Manual del ingeniero mecánico*: Marks 2° ed. Mexico McGraw-Hill.
8. HIDRANDINA S.A. (2003). "Especificaciones técnicas de postes de concreto armado".
9. HIDRANDINA S.A (2003) "Especificaciones técnicas de crucetas y mensulas de concreto".
10. Concreto Transformado S.A. (2003). Datos técnicos de construcción de postes de concreto.
11. HIDRANDINA S.A. (2007). Informe por una orden de fabricación de distanciadores.