Proyecto Final

Interconexión Bragado – Chacabuco. Línea 132 kV.

TOPICOS A DESARROLLAR:

TOPICO 1: Definición del recorrido de la línea y su longitud

TOPICO 2: Estudio del impacto ambiental.

TOPICO 3: Cálculo de la Sección económica del conductor de fase

TOPICO 4: Cálculo mecánico del conductor

TOPICO 5: Estudio del vano económico

TOPICO 6: Cálculo de soportes

TOPICO 7: Cálculo de fundaciones

TOPICO 8: Puesta a tierra

TOPICO 9: Trasposición de la línea

TOPICO 10: Estudio de la planialtimetría

TOPICO 11: Tabla de tendido

TOPICO 12: Estudio de vibraciones y selección de amortiguadores

Proyecto Final

Datos del proyecto

DATOS PROYECTO LINEA ALTA TENSION BRAGADO-CHACABUCO

- Potencia a transmitir Inicial: 50 MW.
- Tensión Sugerida de Transmisión: 132 kV
- Incremento anual de la demanda: 5 %
- Saturación de la línea: Quinto Año
- Vida Útil: 25 años
- Coseno Fi: 0,8
- Tasa de Interés anual: 10 %
- Tiempo de Utilización: 7000 horas
- Costo de la Energía: 0,03 u$s / Kwh.
- Tipo de conductor de Fase: Aleación de Aluminio con Alma de Acero
- Tipo de conductor de protección (cable de guardia): Acero galvanizado 50 mm2 de sección
- Tipo de soporte: Hormigón Armado Vibrado / Centrifugado Monoposte / Biposte y Triposte
- Disposición de los conductores de Fase: Triangular asimétrico
- Aislamiento Sugerido: Porcelana / Vidrio /polimerico
- Forma de fundación Sugerida: Romboidal o Cuadrada, macizo monobloque hormigón simple
- Método de cálculo: Sultzbeger
- Coeficiente de Compresibilidad lateral (Cs) a 2 mts. de profundidad: 7000 Kg/ cm3
- Coeficiente de compresibilidad de fondo a 2 mts. de profundidad: 6500 kg/cm3
- Capacidad portante del terreno: 1,5 Kg/cm2
- Terreno no agresivo a sales
- Coeficiente de seguridad al vuelco: mayor a 1,5
- Resistividad: 30 ohm por metro
- Densidad de corriente J: 1,2 A/mm2

Proyecto Final

Definición del recorrido de la línea y su longitud

Tópico 1

1. Introducción

Al momento de realizar el trazado de la línea, además de los aspectos técnicos, existen otros factores igual o más determinantes que el mencionado, es decir, aspectos económicos, sociales y políticos han de ser tenidos en cuenta.

Desde el punto de vista técnico es importante considerar:

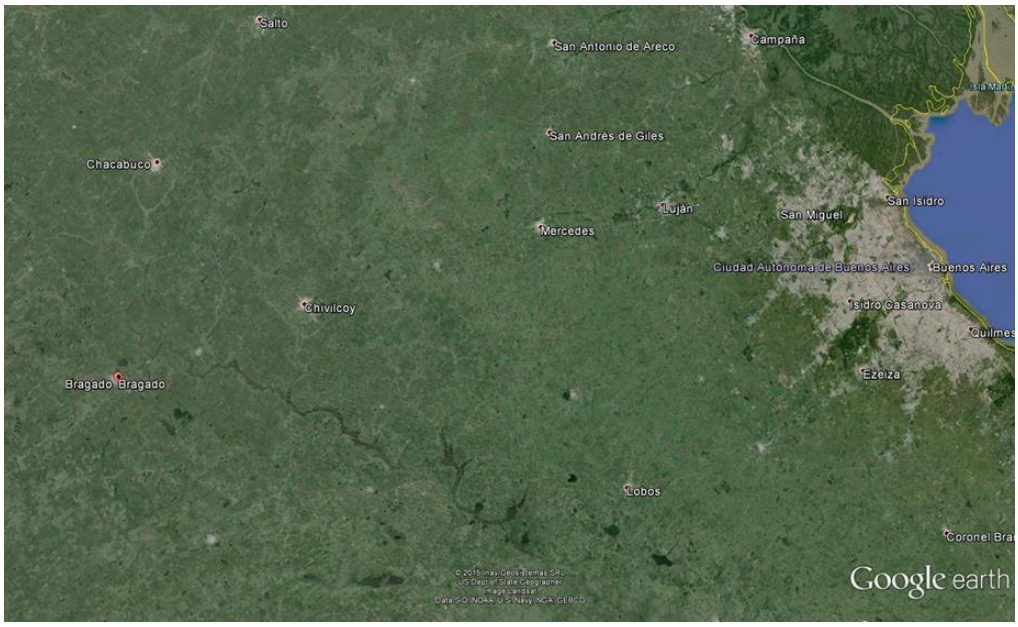
-Características del suelo, tanto las topográficas como las geológicas.

-Posibilidades de acceder a la zona elegida no sólo para la ejecución de la misma, sino para lo que será su posterior mantenimiento.

Económicamente es evidente que el recorrido en línea recta entre subestaciones es el menos costoso, tratando de utilizar la menor cantidad de estructuras especiales y que además sea paralelo a los caminos. Es de mencionar que para líneas de 132 kV en adelante (como es este el caso), las mismas no deben estar pegadas al camino, sino a una distancia de aproximadamente 200m, pero visible, de manera tal que una inspección visual desde el camino se posible.

Por último y no por ello de menor importancia, los aspectos políticos y sociales también son importantes, es necesario que exista un consenso desde la población para que la misma sea ejecutada, sino las trabas jurídicas que puedan surgir, podrían ser motivo del retraso del proyecto. También es necesario evitar zonas que son o pueden llegar a ser polos de desarrollo demográfico.

Entonces podemos concluir que el trazado debe realizarse siguiendo alguna via importante como una ruta nacional, provincial, vías de FF.CC., tratando de evitar siempre los accidentes geográficos (montañas, depresiones bruscas, etc.), vías navegables o no, terrenos anegadizos, paralelismos con líneas de comunicación.



Imágen 1

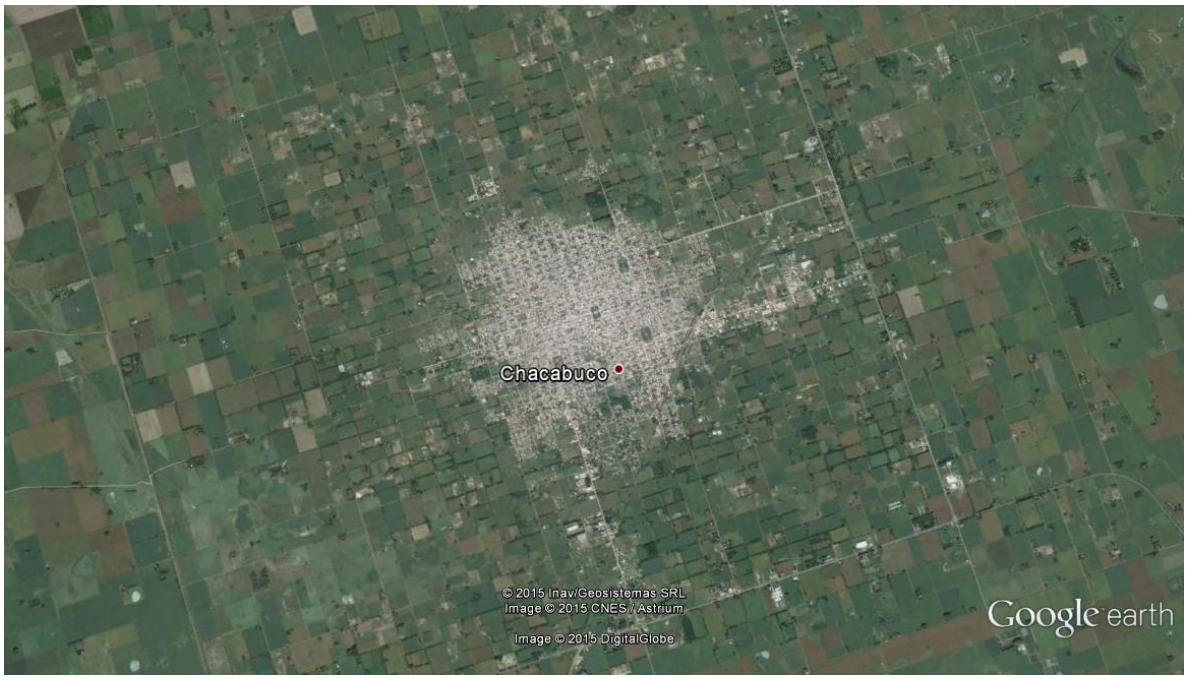
2. Ciudad de Chacabuco

Ciudad del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Fundada en Agosto de 1865. Al 2010 cuenta con una población de 38.418 habitantes.

A 25 km de Chacabuco, cerca de la RN 7 se encuentra la Laguna de Rocha, formada por un ensanchamiento del Río Salado en tierras bajas. Su principal característica es el paisaje agreste que atrae a turistas en busca de un contacto distinto con la naturaleza y con el paisaje llano y solitario de la región pampeana pero que al mismo tiempo ofrece los servicios básicos como para garantizar una buena estadía. Otras Lagunas: Laguna Las Toscas y Laguna de Los Patos.

Chacabuco cuenta con la Laguna de Rocha, siendo uno de sus principales centros turísticos. Hasta hace poco más de diez años, dicha laguna era la atracción principal para familias y amigos en los finde semanas; pero llegó un día en que las compuertas se rompieron. Año tras año, gobierno tras gobierno, han prometido el arreglo de las compuertas para atraer nuevamente a la población a aquellas "épocas gloriosas" de esta hermosa Laguna, pero hasta el año corriente (2013), la laguna sigue desecha y con compuertas rotas, atrayendo nula cantidad de habitantes y también escasa cantidad de la fauna acuática. Lamentablemente este dilema continuará sin resolverse, ya que nadie hace algo para florecer nuevamente esta espectacular laguna.

El sistema utilizado para el proyecto de la línea aérea de 132 kV, está formado por los hilos de guardia, postes, vínculos y el suelo. Se busca que la resistencia eléctrica del conjunto sea la mas baja posible. La unión de los cables de guardia, el soporte y la conexión a su parte metálica asegura un contacto eléctrico aceptable, pero su vinculación al suelo presenta una dificultad mayor.



Imágen 2

3. Ciudad de Bragado

Ciudad cabecera del partido de Bragado, en la provincia de Buenos Aires. El municipio de Bragado está ubicado en el centro noroeste de la provincia de Buenos Aires en el corazón de la pampa fértil argentina, a 210 km al oeste de la ciudad de Buenos Aires. Fue fundada en Marzo de 1846. Y la población según el último censo es de 41.336 habitantes.

La actividad económica de Bragado está basada en los recursos de los sectores agropecuario, de comercio, servicios y en la actividad industrial.

El producto interno bruto de Bragado está constituido en un porcentaje cercano al 45% por la riqueza que aporta el sector agropecuario, el 35% proveniente del comercio y los servicios y en un 20% de la industria.

Los suelos son aptos para la producción agropecuaria de calidad. Los niveles de ocupación de la superficie por actividad se estiman en un 70% destinados a la agricultura, el 20% a la ganadería y el 10% restante a la producción mixta con predominio agrícola. En la actividad ganadera prevalece la cría.

Si bien en la última década se ha registrado un aumento notable de la superficie agrícola en detrimento de la ganadería, la aptitud geomorfológica y climática permite el desarrollo de todo tipo de ganado.

La agricultura se asienta sobre la producción de soja (principal cultivo), trigo, maíz y girasol. También se produce cebada, constituyéndose en una característica distintiva con respecto a otros municipios de la región.

Es destacable el valor que tiene para los bragadenses la actividad industrial, focalizada mayoritariamente en dos rubros: sidero-metalúrgico y confección de indumentaria.

La tradición industrial en esta comunidad tiene un punto de partida con la instalación de los talleres ferroviarios en la localidad de Mechita en el año 1907. Allí se reparó y reconstruyó material ferroviario de la línea Sarmiento hasta los años noventa.

El gran desarrollo industrial se produce en los años sesenta y setenta a partir de dos fábricas instaladas en 1959:

- Acería Bragado, productora de piezas fundidas (cilindros de laminación, material para las industrias automotriz, naviera y ferroviaria, etc.) y de aceros laminados.
- FIASA, fabricante de molinos de viento.

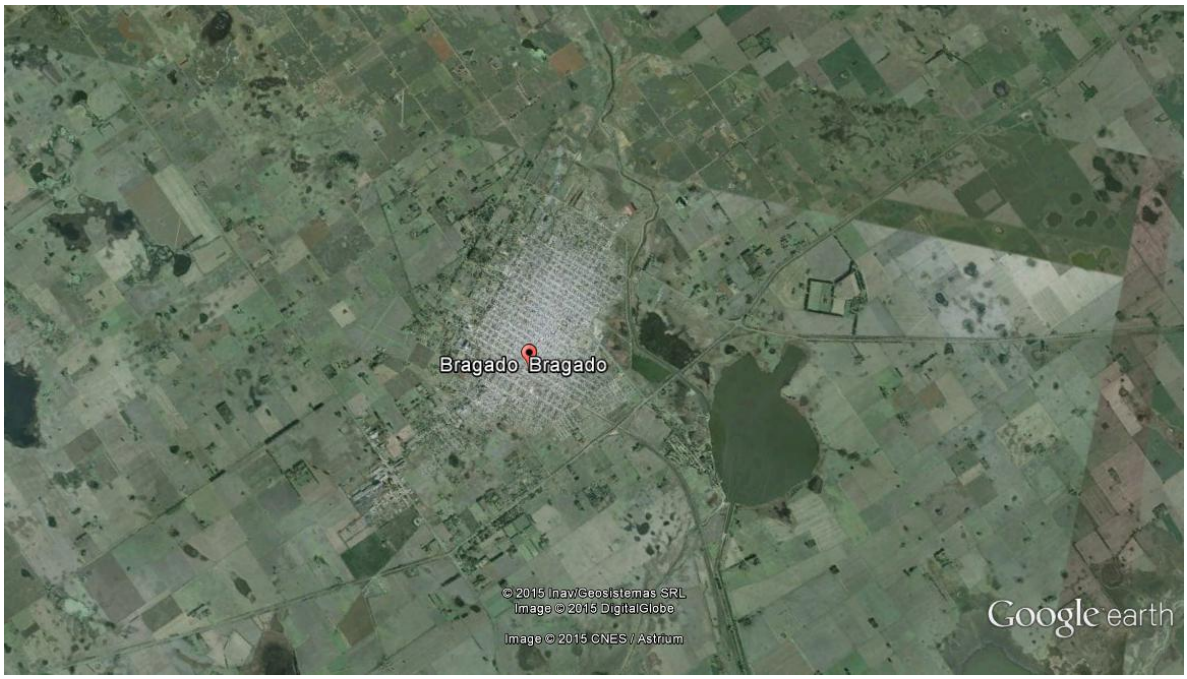
A principios de los años sesenta, en la localidad de O'Brien se instaló la empresa Conbra SA (de capital bragadense) que generó un polo para la industria de la indumentaria. Es la que provee la mayor cantidad de mano de obra industrial del partido.

Le Utthe: esta empresa se inició en 1982, teniendo la central de operaciones instalada en la ciudad de Bragado. Desarrolla una gran variedad de líneas de ropa para mujer, hombre y niños, siguiendo las tendencias de la moda internacional. Se caracteriza por tener un estilo urbano, informal y activo que acompaña en el día a día, ofreciendo prendas simples, básicas y convenientes por precio, diseño y calidad. Cuenta con una fábrica integral, con el equipamiento necesario para desarrollar todos los procesos de la prenda, partiendo de la tela hasta el producto terminado, supervisando cuidadosamente cada una de las áreas. La planta de más de 1 ha alberga las oficinas administrativas, el área de diseño y desarrollo de productos, los talleres de corte y moldería, bordado, estampería y lavandería, con tecnología de punta. Los productos se comercializan a través de 37 locales propios, contando con una atención personalizada.

En los años setenta se instaló Mario Cricca SA, líder nacional y regional en la fabricación y

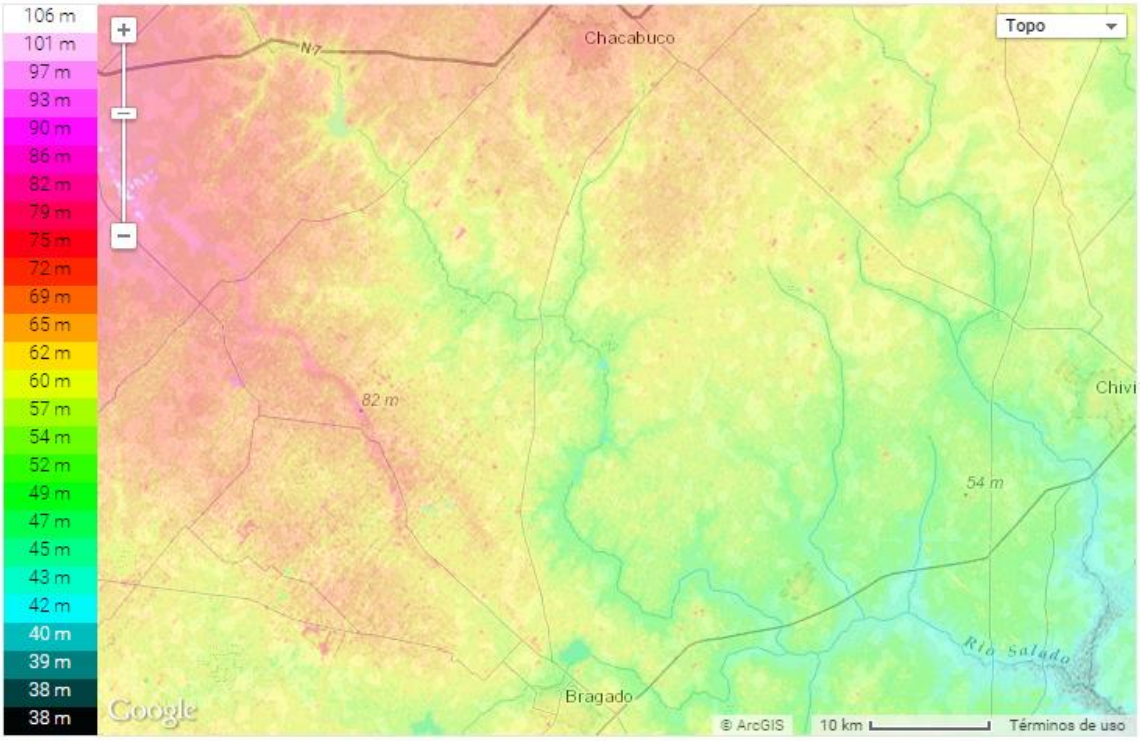
exportación de máquinas envasadoras de medicamentos y alimentos.

El comercio y los servicios aportan una variada gama de propuestas que integran satisfactoriamente a todos los sectores de la economía local.



Imágen 3

4. Topografía de la región



Imágen 4

De acuerdo a las imágenes obtenidas por google, se puede ver que la región es bastante llana en toda su extensión, con pocos cursos de agua y una altura promedio sobre el nivel del mar de 60m.

Elevándose más en la zona de la ciudad de Chacabuco.

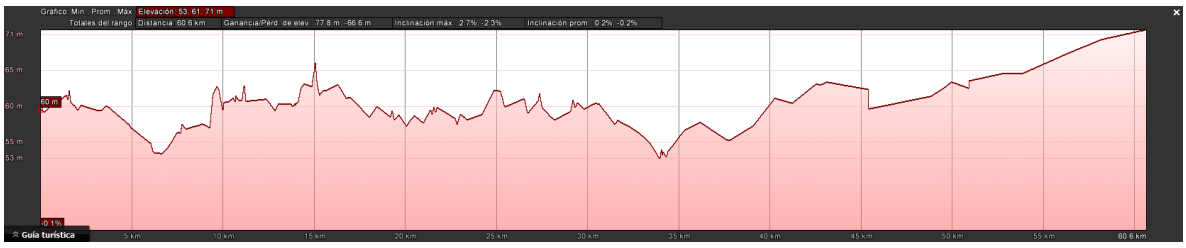
5. Trazado de la línea

Mediante el software google earth y las plantillas obtenidas del Instituto Geográfico Militar se procedió a efectuar el trazado de la línea siendo esta de aproximadamente 60 km. La misma une las subestaciones de Chacabuco con la de Bragado. Teniendo como camino de referencia la ruta provincial 42 y respetando la normativa requerida y mencionada en la introducción del tópico.

Imágen 5

En rojo puede observarse el trazado de la línea.

Adicionalmente se pudo recoger la información de la altimetría del recorrido de la línea.



Proyecto Final

Estudio de impacto ambiental

Tópico

1. Introducción

1.1 Marco normativo y antecedentes

La Evaluación del Impacto Ambiental y Social (EIA´s) busca una cuantificación sistemática de los efectos que tienen las actividades humanas sobre la calidad del medio ambiente. Es por ello que es primordial proteger el medio ambiente y promover el crecimiento económico sin que esto implique dañar el entorno del hábitat.

1.2 Normativas en Argentina y sus criterios y aplicación

La legislación en Argentina es amplia para los sistemas de Generación, transmisión y distribución en lo referente a los aspectos eléctricos – ambientales y laborales. Analicemos dichas Normativas:

Constitución Nacional Argentina:

Art. 41.- Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.

Art. 43.- Toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley. En el caso, el

juez podrá declarar la inconstitucionalidad de la norma en que se funde el acto u omisión lesiva.

Podrán interponer esta acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente, a la competencia, al usuario y al consumidor, así como a los derechos de incidencia colectiva en general, el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines, registradas conforme a la ley, la que determinará los requisitos y formas de su organización. Toda persona podrá interponer esta acción para tomar conocimiento de los datos a ella referidos y de su finalidad, que consten en registros o bancos de datos públicos, o los privados destinados a proveer informes, y en caso de falsedad o discriminación, para exigir la supresión, rectificación, confidencialidad o actualización de aquéllos. No podrá afectarse el secreto de las fuentes de información periodística. Cuando el derecho lesionado, restringido, alterado o amenazado fuera la libertad física, o en caso de agravamiento ilegítimo en la forma o condiciones de detención, o en el de desaparición forzada de personas, la acción de hábeas corpus podrá ser interpuesta por el afectado o por cualquiera en su favor y el juez resolverá de inmediato, aun durante la vigencia del estado de sitio.

- Pacto Federal Ambiental
- Leyes 15.336 y 24.065 Régimen de Energía Eléctrica: Generación, Transformación y Transmisión, o Distribución de Electricidad, cuando correspondan a la jurisdicción nacional y su decreto reglamentario, Decreto PEN N° 1398/92
- Ley Nº 19.552 Régimen de Servidumbre Administrativa de Electroducto.
- Ley Nº 19.587 Seguridad, Higiene y Medicina del Trabajo y sus decretos reglamentarios, Decretos PEN N° 351/79 y Nº 911/96, Res. SRT Nº295/03.
- Ley Nº 19.943 Convención para prohibir e impedir la importación, exportación y transferencia de bienes culturales.
- Ley Nº 19.995 Riqueza Forestal
- Ley Nº 20.284 Preservación de los Recursos del Aire.
- Ley Nº 21.172 Floración de las aguas de consumo en todo el país.
- Ley N° 21.499 Régimen de Expropiaciones.
- Ley Nº 21.990 Bosques.
- Ley Nº 22.428 Conservación de Suelos y su decreto reglamentario, Decreto PEN N° 681/81

- Ley N° 24.028 Accidentes de Trabajo
- Ley N° 24.040 Compuestos Químicos.
- Ley Nº 24.051 Residuos Peligrosos y su decretos reglamentarios, Decretos PEN N° 181/92 y Nº 831/93.
- Ley N° 24.449 Tránsito y Seguridad Vial, Transporte de Mercaderías Peligrosas por Carretera y su decreto reglamentario, Decretos PEN N° 779/95 y 714/96.
- Ley N° 24.557 Riesgos de Trabajo y sus decretos reglamentarios, Decretos PEN N° 334/96 y 911/96 y la Resolución N° 51/97 de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo.
- Ley N° 24.585 Código de Minería – De la protección ambiental para la actividad minera.
- Ley N° 25.612 – Residuos Industriales y Actividades de Servicios (nueva ley de residuos) – Decreto PEN N° 1343/02 – promulgación parcial.
- Ley Nº 25.670. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los PCB's en el territorio nacional.
- Ley N° 25.675 Política Ambiental Nacional – Decreto N° 2413/02 – promulgación parcial
- Ley Nº 25.688 Régimen de Gestión Ambiental de Aguas.
- Ley Nº 25.743 Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico
- Ley Nº 25.750 Preservación de Bienes y Patrimonios Culturales
- Ley Nº 25.831 Acceso a la Información Pública Ambiental.
- Resolución Nº15/92 Secretaría de Energía, aparecen las guías de los parámetros ambientales orientativos y su alcance son las líneas de Alta Tensión.
- Resolución Nº32/94 (ENRE) Contenidos mínimos del Plan de Gestión AmbientalPGA, presentación Bianual, informes trimestrales.
- Resolución Nº52/95 (ENRE) Plan de Gestión Ambiental de los agentes para ser aprobado por el ENRE, indica plazos para la presentación de documentación.
- Resolución ENRE 555/2001
- Resolución ENRE 178/2007
- Resolución ENRE 564/2007
- Resolución ASPA 01/2010

Leyes ambientales

LEY Nº 24.065 El artículo 11 establece la obligatoriedad de obtener un Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública para la construcción y/o operación de instalaciones de la magnitud que precise la calificación del Ente Nacional Regulador de la Electricidad, así como la extensión y ampliación de las existentes. Conforme a la calificación asignada, en los casos que corresponda, se deberá dar a publicidad este tipo de solicitudes y realizar una Audiencia Pública. Establece en su artículo 17 que la infraestructura física, las instalaciones y la operación de los equipos asociados con la generación, transporte y distribución de energía eléctrica deben adecuarse a las medidas destinadas a la protección de las cuencas hídricas y de los ecosistemas involucrados. Asimismo, deben responder a los estándares de emisión de contaminantes vigentes y a los que se establezcan en el futuro, en el orden nacional por la Secretaría de Energía. El artículo 56 fija que es obligación y función del Ente Nacional Regulador de la Electricidad el velar por la protección de la propiedad, el medio ambiente y la seguridad pública en la construcción y operación de los sistemas de transporte y distribución de electricidad.

DECRETO Nº 1.398/92 REGLAMENTARIO DE LA LEY Nº 24.065 Establece en su artículo 17 que la Secretaría de Energía deberá determinar las normas de protección de cuencas hídricas y ecosistemas asociados, a los cuales deben sujetarse los generadores, transportistas y distribuidores de energía eléctrica, en lo referente a la infraestructura física, las instalaciones y la operación de sus equipos.

LEY Nº 15.336 Corresponde al régimen de energía eléctrica. El artículo 1 establece que quedan sujetas a esta ley las actividades de la industria eléctrica destinadas a la generación, transformación y transmisión, o a la distribución de la electricidad cuando las mismas correspondan a la jurisdicción nacional. El artículo 5 declara de jurisdicción nacional la generación de energía eléctrica, cualquiera sea su fuente, su transformación y distribución cuando entre otras cosas se vinculen con el comercio de energía eléctrica con una nación extranjera.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

RESOLUCIÓN SRNyAH Nº 224/94 Residuos Peligrosos de Alta y Baja Peligrosidad. Establece las características para determinar el grado de peligrosidad de un residuo.

RESOLUCIÓN SRNyAH Nº 250/94 Establece la clasificación de las categorías cuánticas de los generadores de los Residuos Peligrosos Líquidos, Gaseosos y Mixtos.

RESOLUCIÓN SRNyAH Nº 544/94 Establece las obligaciones que deberán cumplimentar los vendedores de acumuladores eléctricos en la operación de venta.

RESOLUCIÓN SAyDS Nº 249/02 Regula el ingreso y el uso en el territorio nacional de PCB's y materiales que contengan estas sustancias o estén contaminados con ellas y establece la realización del plan nacional de inventario de PCB.

RESOLUCIÓN SAyDS Nº 295/05 Residuos Peligrosos. Obtención de manifiestos para el transporte a provincia de Buenos Aires.

Ente Nacional Regulador de la Electricidad

RESOLUCIÓN Nº 46/94 Establece la magnitud de las instalaciones cuya operación y/o construcción requiere de un Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública emitido por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad.

RESOLUCIÓN Nº 953/97 Establece que los peticionantes del Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública deben presentar un Estudio de Impacto Ambiental y un Plan de Gestión realizado de conformidad con los lineamientos establecidos en la Resolución N° 15 de la ex-Secretaría de Energía y cumplimentando los requisitos estipulados en esta Resolución.

RESOLUCIÓN Nº 1724/98 Imparte las "*instrucciones para la medición de campos eléctrico y magnético en sistemas de transporte y distribución de energía eléctrica*", estipulando la obligatoriedad de las mediciones de radio-interferencia y ruido audible por efecto corona y ruido (nivel sonoro) (arts. 2 y 3).

RESOLUCIÓN Nº 1725/98 Establece que los peticionantes del Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública previsto en el Art. 11 de la ley Nº 24.065, deben presentar un Estudio de Impacto Ambiental y un Plan de Gestión realizado de conformidad con los criterios y directrices de procedimientos establecidos en el Anexo de dicha Resolución. La documentación a ser elaborada y presentada deberá responder a lo indicado en el Manuel de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico aprobado en la Resolución SE N° 15/92, modificada por la Resolución SE Nº 77/98.

RESOLUCIÓN Nº 69/01 Aprueba el Reglamento para el otorgamiento del Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública para la construcción y/u operación y ampliación de las instalaciones de distribución o transporte de energía eléctrica.

RESOLUCIÓN Nº 555/01 Sistema de Gestión Ambiental y Plan de Gestión Ambiental. Establece la obligatoriedad de implantar Sistemas de Gestión Ambiental en cada uno de los agentes del MEM de jurisdicción ambiental del ENRE – Deroga la Resolución ENRE 32/94.

En lo referente a los campos electromagnéticos en el año 1996 fue un año problemático, la opinión pública presionaba por los efectos de los campos eléctricos y magnéticos y por sus supuestos efectos a largo plazo, surgen conflictos entre empresas y la población originando la suspensión de obras eléctricas, aparecen consecuencias no previstas tanto para las empresas como para los usuarios; es por ello se requirió analizar el tema a nivel internacional y se consideran diversos aspectos:

- Científicos
- Normativos
- Regulatorios

Para ello se realizó una amplia participación entre los organismos y las instituciones, al finalizar el año se presentaron informes con recomendaciones.

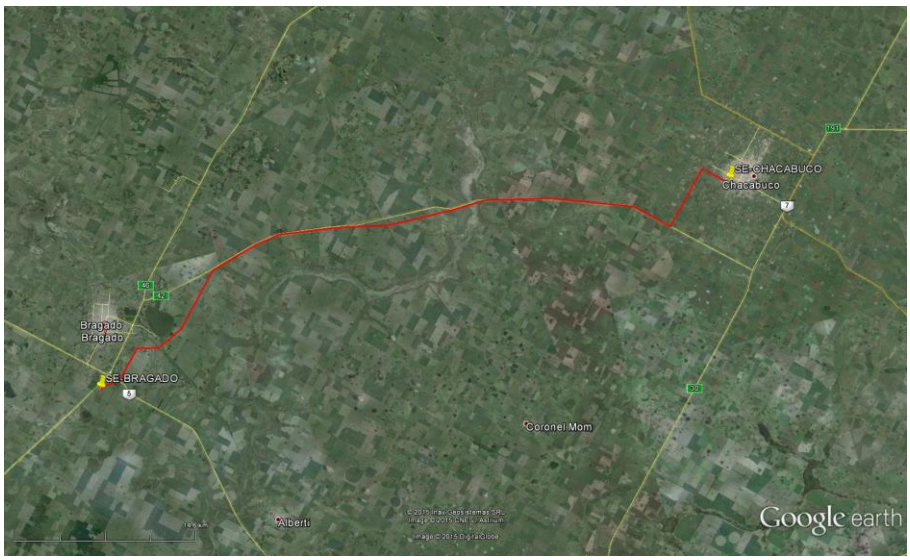
2. Descripción general del proyecto

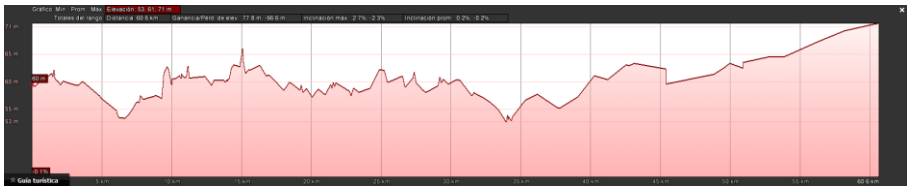
2.1 Características generales de la línea

Sistema	Corriente alterna trifásica
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	132 kV
Disposición de los conductores de Fase	Triangular asimétrico
Nº de conductores por fase	1
Tipo de conductor de Fase	Aleación de Aluminio con Alma de Acero
Tipo de conductor de protección	Acero galvanizado 50 mm2 de sección
Tipo de soporte	Armado Vibrado / Centrifugado Monoposte / Biposte y Triposte
Longitud total	67 km

2.2 Descripción del trazado

El trazado sale por las afueras de la ciudad de Bragado de la Subestación, y bordea a la Laguna de Bragado, pasando sobre el arroyo Saladillo. Luego se pone en paralelo con la ruta 42 hasta llegar al punto de quiebre donde se empieza a acercar a la ciudad de Chacabuco, la zona que recorre en la entrada a la Subestacion de Chacabuco es suburbana.
Todo el recorrido de la línea 42 lo hace en zona de campos.





2.3 Fases de la construcción de las instalaciones

Básicamente, las obras que se precisan para la construcción de la línea, teniendo presente que cada una de ellas se componen de un conjunto de actividades, son las siguientes:

- Obtención de permisos.
- Apertura de caminos de acceso.
- Excavación y hormigonado de las fundaciones.
- Retirada de tierras y materiales de la obra civil.

- Acopio de material de los soportes.
- Armado e izado de soportes.
- Tala de arbolado.
- Acopio de los conductores, hilo de guardia y cadenas de aisladores.
- Tendido de conductores e hilo de guardia.
- Regulado de la tensión, engrapado.
- Eliminación de materiales y rehabilitación de daños.

3. Identificación de impactos y su mitigación

3.1 Medios preventivos en la fase de diseño

Determinación de la traza

Esta medida es la que tiene una mayor repercusión sobre la reducción de los posibles impactos sobre el medio, ya que la generalidad de las afecciones que puede provocar una línea de transporte y sobre todo, su magnitud, dependen en su mayor parte del trazado que la línea posea, en función de que se eludan o no las zonas más sensibles.

En la definición actual del trazado se han adoptado, cuando ha sido viable, una serie de criterios básicos, que pretenden racionalizar su diseño, incorporando los temas ambientales a los

básicos de diseño de líneas, como son:

•Alejar el trazado de los núcleos de población, de las zonas de hábitat disperso y, en lo posible, de la totalidad de las viviendas presentes.

•Diseño del trazado siempre que ha sido posible por zonas de media ladera, evitando el paso por puntos culminantes, lo que repercute en una reducción del impacto paisajístico.

•Minimizar la afección a Espacios Naturales Protegidos o zonas de alto valor no declaradas, evitando el paso por las mismas.

•Evitar en lo posible el paso por zonas de alto valor arqueológico o histórico-artístico.

Diseño de la red de accesos

Con carácter previo se debe planificar la red de caminos y vías de acceso necesarios para la ejecución de las obras, con el fin de procurar el máximo uso de la red de caminos existentes, en la medida de lo posible, para reducir la apertura de nuevos accesos.

Además será importante reducir al máximo la longitud de caminos de nueva creación, considerando que, de forma genérica, una mayor longitud de caminos supone mayores efectos sobre el medio.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que se asume claramente que siempre que sea viable se ha de dar un rodeo antes que, por acceder por el camino más corto, se provoque un daño mayor.

Para facilitar el acceso desde los caminos existentes hasta la base de los apoyos en las zonas de gran valor en las que sea imprescindible abrir la pista y no haya alternativa posible se propone ensanchar hasta un máximo de 4 metros pistas o sendas existentes.

Únicamente se abrirán nuevos accesos en las zonas en las que la topografía no permita un acceso directo a campo travieso y no sea viable el trasiego de máquinas y personas por el terreno.

Se procurará adaptar al máximo el camino al terreno, siguiendo siempre que sea posible las curvas de nivel, para reducir los movimientos de tierras y la creación de grandes desmontes y terraplenes.

3.2 Medidas preventivas en la fase de construcción

Medidas a adoptar en la obtención de la autorización de la línea y los permisos de los propietarios

Durante el proceso de autorización de la línea los organismos públicos y entidades que pueden ser afectadas por el desarrollo de la instalación, han de emitir los condicionados correspondientes. Estos condicionados son de obligado cumplimiento por lo que tienen que ser asumidos en la realización de los trabajos.

En la obtención de los acuerdos con los propietarios, además de los acuerdos económicos necesarios para la constitución de las servidumbres, se pactarán, de forma simultánea, otra serie de medidas muy diversas, entre las que destacan las referentes a corrección de daños y protección de entorno.
Estas actuaciones tienen un reflejo inmediato en la aceptación social del proyecto, ya que si bien no afecta a la generalidad de los habitantes de la zona si que implica la aceptación de los que son afectados directamente por el paso de la línea.

Control de los efectos a través del contratista

Deberá adoptar a este respecto, a su cargo y responsabilidad, las medidas que le sean señaladas por las autoridades competentes y por la representación de la compañía eléctrica contratante para causar los mínimos daños, así como el menor impacto en:

- Caminos, acequias, canales de riego y, en general, todas las obras civiles que cruce la línea o sea necesario cruzar y/o utilizar para acceder a las obras.
- Plantaciones agrícolas.
- Formaciones geológicas, monumentos, yacimientos, espacios de alto valor ecológico, etc.
- Cerramiento de propiedades ya sean naturales o de obra, manteniéndolas en todo momento según las instrucciones del propietario.

Además de éstas, los contratistas deberían asumir otra serie de actuaciones en la fase de construcción, una vez adoptadas las citadas, como son:

- Obligación de causar los mínimos daños sobre las propiedades.
- Obligación en las fincas cultivadas, de que todos los vehículos circulen por un mismo lugar, utilizando una sola rodada.
- Prohibición del uso de explosivos para todas las actividades, salvo en casos muy excepcionales, evitando con ello impactos de mayor magnitud. El uso de explosivos para la apertura de accesos, o en las cimentaciones, debe evitarse, dadas las implicaciones ambientales que ello supone, por lo que no se han de mencionar impactos debidos a los mismos.
- Se prohibirá expresamente añadir combustible, la reparación o cambio de aceite de la maquinaria en zonas que no estén expresamente

destinadas a este fin y se exigirá a los contratistas que las labores de mantenimiento de la maquinaria se realicen en talleres autorizados. No obstante, si fuese inevitable realizar cualquier operación de mantenimiento de la maquinaria que intervenga en la obra dentro del área de actuación, se deberá habilitar un área específica, que estará acotada y dispondrá de suelo impermeabilizado y sistema de recogida de efluentes.

- Cada cuadrilla o subcontrata deberá llevarse cualquier residuo producido durante las obras, de forma que al terminar la obra no quede ningún embalaje ni material en la zona de actuación. Los restos deberán ser transportados y vertidos en lugares autorizados. Se pedirá la identificación de un gestor autorizado para cada tipo de residuo.
- Se dispondrá, en un lugar alejado de barrancos y áreas endorreicas, de una plataforma estanca para el lavado de hormigoneras y maquinaria.
- Establecimiento de áreas de almacenamiento temporal o de trasiego, de combustible u otras sustancias potencialmente contaminantes, dotadas con sistemas de retención de posibles derrames.
- Establecimiento de áreas de almacenamiento de residuos y adecuada gestión de los mismos.

Control de los efectos a través del contratista

Una vez determinado el trazado ideal para el acceso se ha de proceder a su apertura, teniendo en cuenta las medidas siguientes:

- Los contratistas deberán asumir la obligación de causar los mínimos daños sobre las propiedades, ajustándose en todo momento al trazado acordado entre los propietarios y los responsables de la línea.
- No se ocasionarán daños a terceros. El paso por fincas de propiedad particular requerirá la conformidad previa de los propietarios. Si con la ejecución de las obras se ocasionara algún daño a personas, ganados o cosas, el contratista sería directamente responsable del mismo y quedaría obligado a satisfacer las indemnizaciones correspondientes.
- Los contratistas quedan obligados a la reparación de los caminos existentes utilizados, y cuyos daños les sean imputables, por lo que la afección sobre los mismos se puede considerar nula a corto plazo.
- Siempre que sea viable se deberá evitar acometer la apertura de un acceso en época de lluvias o en el periodo inmediatamente posterior a un periodo de precipitaciones intensas, dados los daños que se provocan tanto sobre el nuevo acceso como sobre los existentes por los movimientos de maquinaria.

- El tratamiento superficial de los accesos ha de ser mínimo, siendo el firme el propio suelo compactado por el paso de la maquinaria, evitando siempre que sea posible la realización de explanación de ningún tipo, y usando maquinaria ligera, de forma que se posibilite una fácil regeneración natural o artificial.
- La tierra vegetal de calidad que se extraiga al abrir la caja se deberá acumular en montones para extenderla posteriormente en las zonas a restaurar, entre las que estarán todos los taludes de terraplén y aquellos de desmonte que no resulten verticales.
- Se deberá proceder a la eliminación adecuada de los materiales de excavaciones sobrantes en las obras, una vez que se hayan finalizado los trabajos de construcción del acceso, restituyendo, donde sea viable, la forma y aspecto originales del terreno.

Los accesos que deban quedar han de poseer unas características apropiadas, teniendo en cuenta que estos accesos además de ser necesarios para las labores de mantenimiento de la línea, pueden tener otros usos, como completar la red de caminos.

Movimiento de maquinaria y tráfico de camiones

Se recomienda la utilización de maquinaria lo menos ruidosa posible y llevar a cabo un correcto mantenimiento y uso para que los niveles de ruidos se mantengan lo más bajos posibles.

Se planificará que durante el tiempo que dure la obra se lleve a cabo un control de las tareas de limpieza al paso de vehículos en las áreas de acceso a la obra.

Replanteo y cimentación de cada soporte

Antes de comenzar las obras se ha de proceder a un replanteo de la ubicación de cada soporte sobre el terreno, descubriendo posibles dificultades puntuales. Las situaciones que se presenten se deberán estudiar caso por caso para evitar que los daños sean superiores a los inevitables.

El estudio puntual de la cimentación de cada soporte, permite adoptar en cada una de ellas las medidas aplicables para reducir los impactos, realizando las medidas definidas anteriormente.

Preservación de la capa vegetal

En todos los apoyos situados en zonas de frondosas, se debe procurar mantener al
máximo la capa herbácea, arbustiva y arbórea de las zonas afectadas por las obras (explanadas de trabajo y calles esencialmente), obteniéndose mediante esta actuación un resultado muy satisfactorio, ya que, excepto en las zonas de pendiente en las que haya de ser necesario realizar una pequeña explanación así como en el entorno inmediato de cada cimentación, el terreno no se verá afectado, disminuyéndose el riesgo de erosión y la incidencia paisajística que produce una superficie desnuda. Para evitar afectar al arbolado, se procurará ubicar los apoyos en las zonas con más claros.

Preservación de la fauna

Las medidas preventivas enunciadas anteriormente referentes a apertura de accesos y estudio particularizado de las bases de los soportes van a beneficiar directamente a la fauna. No obstante, la fauna resulta sensible a afecciones específicas tales como la emisión de ruidos, derivados del incremento de presencia humana y del uso de maquinaria, que pueden producir trastornos en la conducta de los individuos, provocando alteraciones, como el descenso del éxito reproductivo en las poblaciones afectadas, etc.
Con objeto de mitigar dichas alteraciones, se deberán adoptar medidas preventivas, tales como la no utilización de explosivos para preparar las cimentaciones de los apoyos, ya previsto en el pliego de prescripciones técnicas del Proyecto, o el extremar los cuidados en las zonas de especial interés para la flora y la fauna.
Una vez finalizada la construcción, se inutilizarán los caminos y pistas, que no se consideren necesarios para el adecuado mantenimiento de la línea, así mismo y de acuerdo con los gestores y los propietarios de los campos, se obstaculizarán aquellos que siendo necesarios para el mantenimiento de la línea, la propiedad de la zona o la autoridad medioambiental, crea oportuno impidiendo el acceso a zonas de interés ecológico o paisajístico. Cabe señalar que estos accesos además de ser necesarios para el adecuado mantenimiento de la instalación, pueden tener otros usos, como completar la red de caminos de una finca.

Montaje e izado de los apoyos

Se inician con la apertura de la explanada de maniobra, mencionada anteriormente, en la que un tratamiento mínimo facilita la regeneración posterior.
El montaje del poste en el suelo se realizará sobre el suelo, para proceder posteriormente al izado mediante una grúa. En este caso, y para evitar un mayor deterioro superficial, el poste se debe sustentar con unos tacos de madera. En caso de producirse un daño constatable, la restauración la puede realizar el propietario, mediante la roturación y posterior siembra o plantación, una vez finalizada la obra y previa indemnización por los daños producidos.
Con el sistema de izado mediante pluma los posibles efectos sobre el entorno se reducirán al mínimo, dado que la ocupación y por tanto los efectos sobre la vegetación se reducen a poco más que la ocupación de cada una de las cimentaciones y no se precisan para estas labores movimientos de tierras de ningún tipo. Esto supone que el único efecto que se generaría sobre el suelo se centraría en una compactación superficial imputable al movimiento de maquinaria ligera, básicamente vehículos todo-terreno y, por tanto, fácilmente subsanable, posibilitándose la restauración, y hasta la regeneración natural del medio, con suma facilidad y en un plazo razonable.

Acopio de materiales

Las zonas de acopio, parque de maquinaria e instalaciones auxiliares se instalarán siempre en terrenos baldíos, y en aquellas zonas donde la vegetación tenga un menor valor. En general se procurará ubicarlas en las zonas pegadas a rutas y núcleos habitados que cumplan dichas condiciones.
Se tratará de evitar la instalación del parque de maquinaria y de las instalaciones auxiliares en las zonas aluviales o endorreicas.

Eliminación de los materiales sobrantes de las obras

La eliminación adecuada de los materiales sobrantes de las obras, se realizará una vez que se hayan finalizado los trabajos de construcción y tendido, restituyendo donde sea viable, la forma y aspecto originales del

terreno, con lo que se favorecen las prácticas agrícolas y ganaderas y la productividad de las zonas afectadas.
Será indispensable la eliminación adecuada de los residuos y materiales sobrantes de las obras, mediante traslado a vertedero controlado o almacén según el caso, que se realizará según se vayan finalizando las diversas labores que componen los trabajos de construcción y tendido.
En el caso de que pese a la prohibición de realizar vertidos de hormigón, se percibiera su presencia en la zona, se obligará al contratista a su inmediata retirada.
Otros vertidos que podrían producirse serían los vertidos de aceite provenientes de la maquinaria. Para evitar que éstos se produzcan se prohíbe a los contratistas la realización de cambios de aceite en la línea, debiendo efectuarse siempre en taller autorizado.

Rehabilitación de daños

Por último cabe mencionar que los contratistas quedan obligados a la rehabilitación de todos los daños ocasionados sobre las propiedades, durante la ejecución de los trabajos, siempre y cuando sean imputables a éstos y no pertenezcan a los estrictamente achacables a la construcción. Para ello los propios contratistas deberán proceder a la recuperación de los daños según se hayan ido produciendo o de común acuerdo con los propietarios afectados, proceder a las correspondientes indemnizaciones.

3.3 Medidas correctivas

Medidas correctivas sobre el suelo

Eliminación de los materiales sobrantes de las obras que se realizará, restituyendo donde sea viable, la forma y aspecto originales del terreno.
Siempre que sea posible se restaurarán los caminos y accesos que no vayan a ser necesarios para las tareas de mantenimiento porque sea posible realizarla a través del propio cultivo y por las propias servidumbres.

Restauración de plataformas de trabajo en zonas de cultivos

Una vez finalizados los trabajos de cimentación se procederá al extendido de las tierras. Se restituirá la tierra vegetal que previamente había sido acopiada.

Restauración de accesos

En los casos en que se deba proceder a la restauración de la superficie afectada por la plataforma del camino y los taludes que lo determinan, la actuación se realizará, mediante la restitución topográfica del suelo, acopiando las tierras del talud sobre el camino, recuperando en lo posible la pendiente natural del terreno, intentando que los perfiles se reestructuren de la forma más idónea, en particular la tierra vegetal, que deberá situarse en la superficie, para lo cual se habrá acopiado en montones diferenciados.

3.4 Etapa de operación y mantenimiento

Las características de una línea de alta tensión en operación no presenta particularidades como las que se puede encontrar, por ejemplo, en una planta industrial, en que existen movimientos diarios de personal, vehículos propios, de proveedores y existen procesos que consumen bienes y servicios que a su vez, demandan una importante variedad de elementos de consumo y en las que es necesario mantener controles que representan las herramientas por las que se mantiene un equilibrio que depende, de gestiones complicadas que transitan cuadros de mandos y maniobras que impactan sobre el medio derivadas de dinámicas operativas que no se encuentran en una línea de alta tensión en operación.
Por ello las acciones que actúan sobre el ambiente en una línea como la propuesta se relacionan con los movimientos ante emergencias y las tareas de mantenimiento, diferenciando lo puramente operativo de aquello relativo a mantenimiento.
En el primer caso las acciones se derivan de programas de control que tienen un importante componente de investigación científica, mientras que las tareas de mantenimiento se asocian con políticas de cuidado en la gestión ambiental, más ligada con la cuestión cultural y educacional que afecta y condiciona las actitudes de los operarios a todo nivel y que se evidencia en cada actitud individual, terminando por caracterizar la postura

ambiental de la empresa en comparación con otras estructuras que se ocupan del mismo objeto.

Interferencias

Las líneas de transmisión eléctrica, en ciertas situaciones, pueden provocar interferencias en los radioreceptores que se encuentran dentro de su área de influencia.
Las fuentes principales de las interferencias provocadas por el sistema de transmisión de alta tensión en las comunicaciones son:

- Descargas corona: interefieren en las bandas inferiores a 30MHz (banda de A.M.) y el fenómeno reconocido como radiointerferencia.
- Descargas disruptivas: que son pequeñas descargas que se presentan en los accesorios tal como la morsetería. Su presencia depende de los aspectos constructivos y provocan la interferencia en un ancho de banda que perturba las bandas de radio frecuencia modulada y televisión.

La Autoridad de aplicación en materia de radiocomunicaciones establece un valor admisible de máxima interferencia de 31 dB para proteger las señales de buena recepción radiofónica y 54 dB como nivel mínimo de señal para onda terrestre para una estación radial de amplitud modulada en un área protegida.

Atento a que la línea propuesta es de 132 kV y los conductores presentan una gran sección, no se prevé que aparezcan fugas por encima del, por lo que se consideró que no habrán de producirse impactos por aparición del efecto corona, en la franja de servidumbre.

Respecto de las descargas disruptivas la afectación de adecuados recursos para garantizar un adecuado mantenimiento, así como la asignación de personal experto y calificado en la etapa constructiva para lograr una tarea de montaje que se caracterice por su calidad y máxima adecuación a las reglas del arte, permitirán minimizar la posibilidad de que se provoque interferencias que respondan esta modalidad y evitar asi la ocurrencia de impactos por esta causa.

Campo eléctrico

La resolución 77/98 de la Secretaría de Energía, establece valores admisibles para el campo eléctrico en el lpimite de la franja de servidumbre que se encuentran en línea con estándares internacionales e incluso se presentan como más exigentes en algunos casos.

De tal modo, se aprecia que la normativa extranjera y los organismos e instituciones científicas que trabajan en estos temas, suelen recomendar valores máximos admisibles que no siempre son coincidentes. No obstante, cualquiera sea la fuente consultada, se aprecia que los valores que se sugieren desde las diferentes fuentes concuerdan en una franja de valores que se pueden considerar similares a los efectos prácticos.

Para el caso del campo eléctrico, el valor de cálculo se encuentra en un valor igual a 2kV/m sobre el centro de la franja de servidumbre, por lo que en los extremos de esa franja, las mediciones confirmatorias seguramente se encontrarán por debajo de los 3kV/m que establece como máximo admisible la Resolución 77/98 de la Secretaría de Energía y los 5 kV/m que estipula el ENRE en la Resolución 953/97.

Campo magnético

La resolución 77/98 de la Secretaría de Energía, establece valores admisibles para el campo magnético en los bordes de la franja de servidumbre que se encuentran en línea con estándares internacionales, e incluso se presentan como más exigentes en algunos casos.

El ENRE presenta exigencias con un poco más de tolerancia, pero la generalidad de organizaciones técnicas y científicas que desarrollan programas de investigación para determinar valores que representen seguridad para las personas, animales y bienes en general, concurren a definir franjas de mediciones donde la eventual exposición al campo magnético se puede considerar no riesgosa.

Coincidentemente con los valores máximos de la Resolución 77/98, está el sugerido por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos de la Universidad de La Plata.

Por lo anterior y habida cuenta que el valor planteado por el ENRE es 1.000 mG y la Res. 77/98 indica 250 mG, se considera que las verificaciones que se practiquen resultarán satisfactorias, por cuanto los valores calculados para el centro de la franja se encuentran en el orden de los 85 mG.

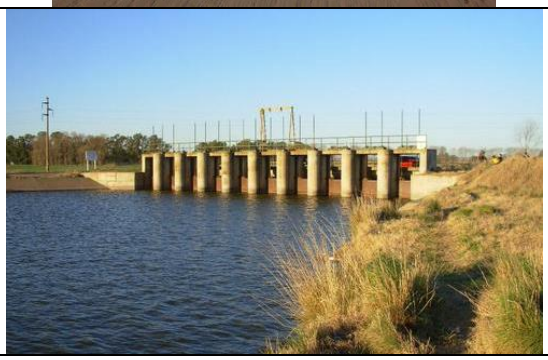
Ruido audible

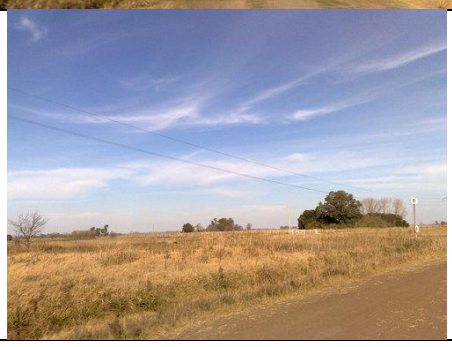
Existe el criterio que los valores de perturbación ingresan al umbral de importancia a partir de tensiones que se encuentran por encima de los 300 kV. Su percepción provoca situaciones comparables con las contempladas en el ítem de interferencias, por lo que se remite a los comentarios volcados para esa situación.

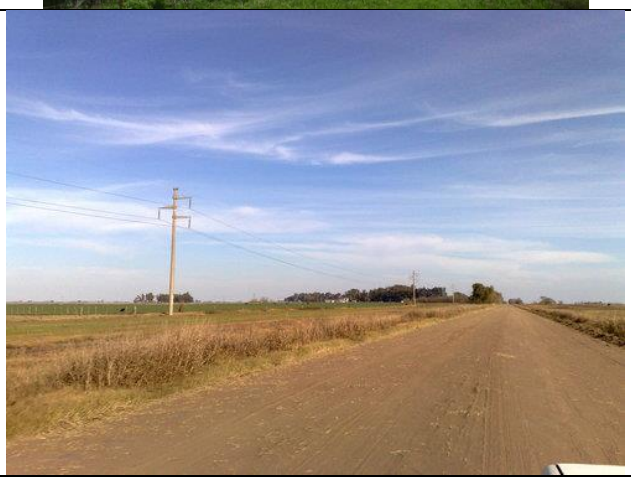
Producción de gases.

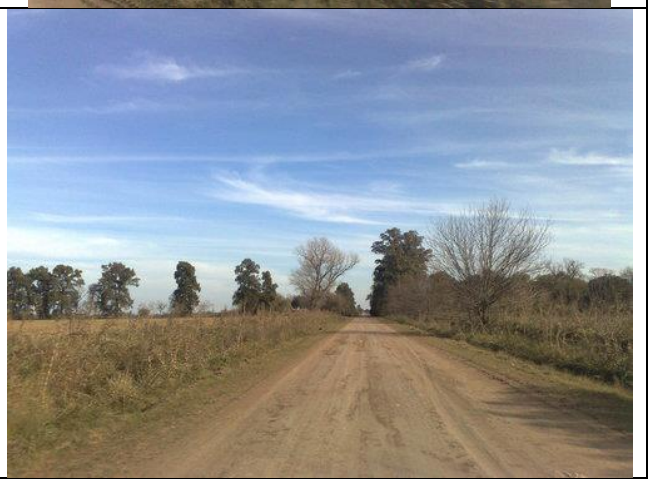
No se cuanta con valores normados para líneas de 132 kV como la que se propone. Como se ha asumido que no habrá ionización, no se considera que se puedan provocar impactos. En caso de que se produzca algún episodio, el impacto sería de importancia ponderada como leve, alcance limitado y de carácter transitorio.

ANEXO FOTOGRAFÍAS

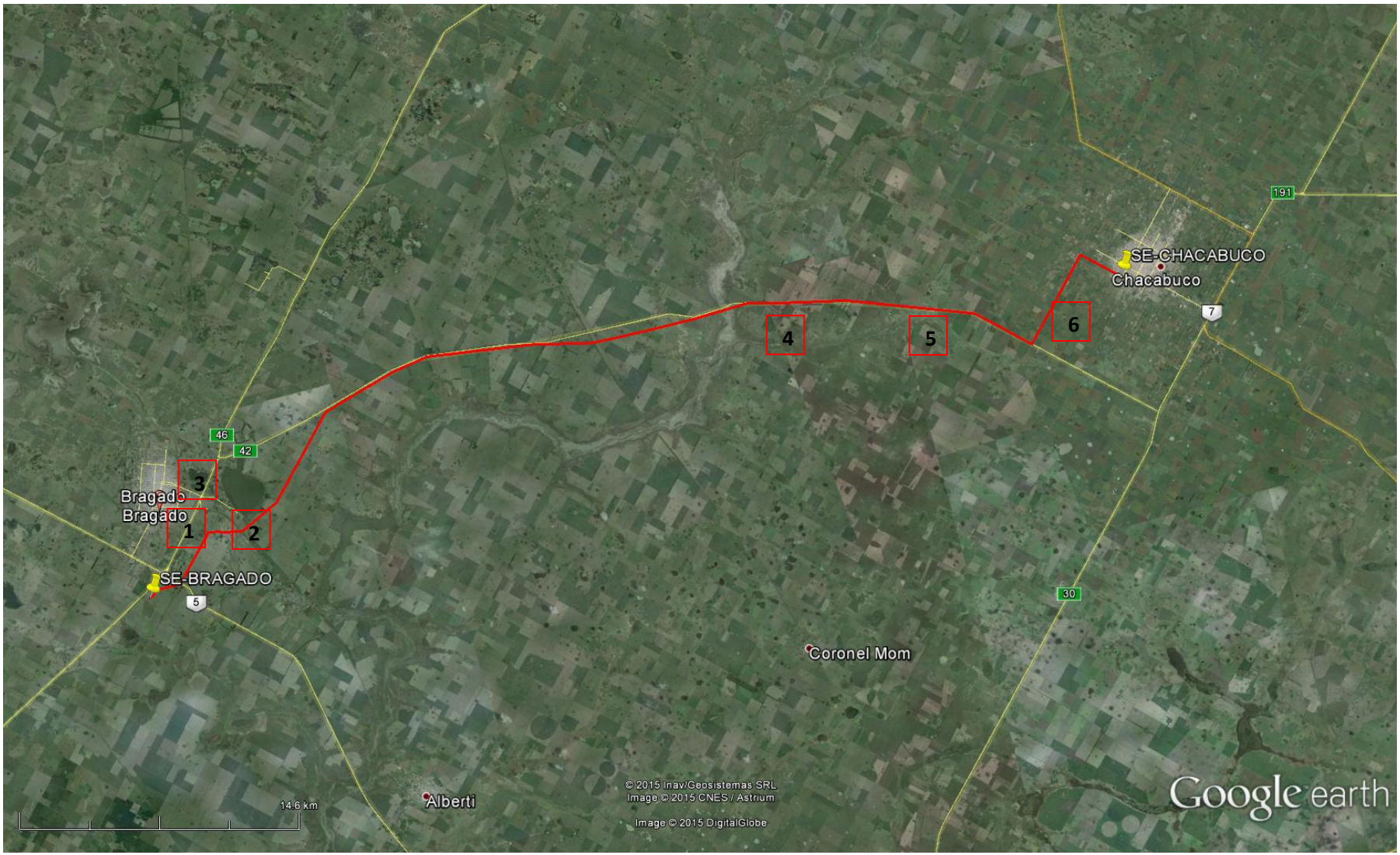
Localización en el mapa	Fotografía
1 **Vista desde el campo de la RP 46**	
1 **Puente sobre la RP 46**	
2 **Dique de Bragado**	

3 **Vista desde la RP 42**	
4 **RP 42**	
4 **RP 42**	
4 **RP 42**	

4 **RP 42**	
4 **RP 42**	
4 **RP 42**	

4 **RP 42**	
5 **Acceso a Chacabuco desde RP 42**	
6 **Acceso a Chacabuco desde RP 42**	

6 **Acceso a Chacabuco desde RP 42**	


SE-CHACABUCO
Chacabuco
Bragado
Bragado
SE-BRAGADO
Coronel Mom
Alberti
1
2
3
4
5
6
46
42
5
7
191
30
14.6 km
© 2015 Inav/Geosistemas SRL
Image © 2015 CNES / Astrium
Image © 2015 DigitalGlobe
Google earth

Proyecto Final

Cálculo de la Sección económica del conductor de fase

Tópico 3

1. Consideraciones adicionales

- La línea de A.T. será de simple terna de conductores de fase y un conductor por fase.
- La disposición de los conductores de fase será triangular asimétrica.
- No se tendrán en cuenta las perdidas sobre las cadenas de aisladores debido a su insignificancia ya que para líneas de 132Kv se estima una pérdida de 10 W por cadena de aisladores.
- Se seleccionara la sección del conductor por medio del cálculo eléctrico y luego se realizara la selección de una sección de conductor por medio del cálculo económico. Para el mismo se analizará un listado de conductores de diferentes secciones.

2. Cálculo de la sección eléctrica

Se sabe que

$$P = \sqrt{3} \times U_n \times I \times \cos\varphi$$

y despejando la corriente se obtiene

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos\varphi}$$

Por lo tanto

$$I = \frac{50MW}{\sqrt{3} \times 132Kv \times 0{,}8} \cong 273{,}37A.$$

Para dicho nivel de corriente se obtiene una sección $S = \frac{I}{J} = \frac{273{,}37A}{1{,}1\ A/mm^2} = 248{,}5mm^2$.

De acuerdo a los cálculos realizados, se procede a la elección del conductor a utilizar tomando la Norma IRAM 2187 como referencia:

Ciudad del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Fundada en Agosto de 1865. Al 2010 cuenta con una población de 38.418 habitantes.

Cuerda desnuda de Aluminio Acero PRYSALAC (marca PRYSMIAN)
Descripción: Alambres de aluminio con alma de acero
Sección eléctrica en valor normalizado más próxima a la sección eléctrica calculada: **240/40 mm^2**

3. Calculo de la sección económica por el método TEPPER

Las secciones a evaluar son las siguientes: 120/20, 150/25, 185/30, 210/35, 240/40, 300/50, 340/30, 380/50, 435/55, 550/70, 680/85, en mm^2.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Costos = Inversion + Perdidas\ variables\ por\ Efecto\ Joule$$

$$Costos = P_0.(1+t)^n + \left[P_1.(1+t) + P_2.(1+t)^2 + P_3.(1+t)^3 + P_4.(1+t)^3 + P_5.(1+t)^3 + P_6.\sum_{m=4}^{n}(1+t)^m\right]$$

Donde:

- P_0 : es la inversión inicial mas el costo de mano de obra (30% del valor del conductor).
- P_1, P_2, P_3 , P_4 ,P_5 y P_6 : corresponden al costo por perdidas variables para los primeros cuatro años desde la puesta en servicio de la línea. Los restantes años (hasta 25 años, que es la vida útil estimada) repiten el nivel de pérdidas del año 6 debido a que la línea se satura a los 5 años desde su puesta en servicio.
- t: es la tasa de interés anual (10%).
- n: son los años de vida útil estimada de la línea.

3.1. Cálculo de la inversión

Sección [mm2]	Diametro ext [mm]	Precio [U$S/km]	Inversión Inicial [U$S]
120/20	15,5	2.160,00	15.294.372,47
150/25	17,1	2.700,00	19.117.965,58
185/30	19	3.310,00	23.437.209,66
210/35	20,4	3.780,00	26.765.151,82
240/40	21,9	4.320,00	30.588.744,93
300/50	24,5	5.400,00	38.235.931,17
340/30	25	5.460,00	38.660.774,85
380/50	27	6.510,00	46.095.539,24
435/55	28,8	7.400,00	52.397.387,16
550/70	32,4	9.360,00	66.275.614,02
680/85	36	11.540,00	81.711.601,05

Tabla 1

Tabla que indica el valor de inversión correspondiente para cada sección de conductor de

132kV.

3.2. Cálculo de Perdidas variables por Efecto Joule:

Debido a que la línea tendrá un incremento de carga del 5% anual, llegando a la saturación de la línea luego de 5 años desde la puesta en servicio, se debe calcular el valor de las perdidas por efecto joule correspondientes a cada año de su vida útil (25 años).

Como la línea satura a los 5 años, las pérdidas calculadas para el cuarto año serán las mismas para todo el resto de los años, es decir $P_6 = P_7 = \ldots = P_{25}$.
Para los cálculos de las pérdidas para cada sección se utilizaron las ecuaciones:

$$P_1 = k.I^2.k_{v1}$$
$$P_2 = k.I^2.k_{v2}$$
$$P_3 = k.I^2.k_{v3}$$
$$P_4 = k.I^2.k_{v4}$$
$$P_5 = k.I^2.k_{v5}$$
$$P_6 = k.I^2.k_{v6}$$

Siendo:

- ✓ $k = \frac{3.R.L}{1000}.T.b$
- ✓ R: resistencia en ohm/km correspondiente a cada conductor.
- ✓ L: la longitud de la línea (60,6km).
- ✓ T: el tiempo equivalente
- ✓ b: precio del Kwh (0,03 u$s/Kwh).
- ✓ I: corriente calculada para el cálculo de la sección eléctrica.
- ✓ K_{vn} : coeficientes de carga variables.

Para obtener el valor del tiempo equivalente T se debió calcular primero el factor de utilización de la línea, siendo este $F_u = \frac{Tiempo\ de\ utilizacion}{8760\ hs} = \frac{7000hs}{8760hs} = 0{,}8$. Luego con dicho valor se ingresó en un gráfico y se obtuvo que el tiempo equivalente tiene un valor aproximado de 5800hs.

A continuación se muestra la tabla que contiene el costo por perdidas variables joule para las diferentes secciones de conductor:

Sección [mm2]	Diametro ext [mm]	Precio [U$S/km]	Inversión Inicial [U$S]	Resistencia[ohm/km]	Costos Joule año1 [U$S]	Año 2	Año 3	Años 4 a 25
120/20	15,5	2.160,00	15.294.372,47	0,237	507716,3369	533102,1538	559757,2615	58517452,54
150/25	17,1	2.700,00	19.117.965,58	0,194	415599,0269	436378,9782	458197,9271	47900361,99
185/30	19	3.310,00	23.437.209,66	0,157	336335,2949	353152,0597	370809,6627	38764725,94
210/35	20,4	3.780,00	26.765.151,82	0,138	295632,2975	310413,9123	325934,6079	34073453,38
240/40	21,9	4.320,00	30.588.744,93	0,119	254929,3	267675,765	281059,5532	29382180,81
300/50	24,5	5.400,00	38.235.931,17	0,094	201372,7244	211441,3606	222013,4286	23209453,75
340/30	25	5.460,00	38.660.774,85	0,0851	182306,5834	191421,9126	200993,0082	21011962,92
380/50	27	6.510,00	46.095.539,24	0,0767	164311,574	172527,1527	181153,5104	18937926,62
435/55	28,8	7.400,00	52.397.387,16	0,0666	142674,7175	149808,4533	157298,876	16444144,89
550/70	32,4	9.360,00	66.275.614,02	0,0526	112683,0351	118317,1869	124233,0462	12987417,74
680/85	36	11.540,00	81.711.601,05	0,0426	91260,40487	95823,42511	100614,5964	10518326,91

Tabla 2

3.3 Pérdidas por Efecto Corona, Método PETERSEN

Para determinar las perdidas por Efecto Corona se debe calcular en primera instancia la Tensión Critica ([Kv/fase]) para cada sección de conductor. Para dicho cálculo se utiliza la ecuación:

$$Uc = \frac{48{,}6 \times \delta^{2/3} \times m \times \left[\log\left(\frac{2 \times DMG}{k \times d_t} \right) + (t-1) \times \log\left(\frac{2 \times DMG}{d - k \times d_t} \right) \right]}{\frac{2}{k \times d_t} + \frac{(t-1)}{d - k \times d_t}}$$

Donde:

- ✓ δ: densidad relativa del cable (tomaremos 0,75).
- ✓ m: coeficiente de superficie que tiene en cuenta las irregularidades del conductor. Se tomara como valor 0,9 (valor medio entre conductor cableado nuevo y envejecido).
- ✓ DMG: distancia media geométrica entre fases (se tomara 300cm).
- ✓ *k*: coeficiente que tiene en cuenta el número de alambres.
- ✓ d_t: diámetro de un alambre de la capa exterior, en [cm].
- ✓ *t:* número de alambres de la capa exterior.
- ✓ *d*: diámetro total de un conductor, en [cm].

La potencia de pérdidas debido a dicho efecto se calculara según la siguiente ecuación:

$$P_c = 1048 \times \left(\frac{U_n}{\sqrt{3} \times \log\left[\frac{2 \times DMG}{d} \right]} \right)^2 \times F \times 3 \times 10^{-6}$$

Donde:

- ✓ F: función de Petersen (se halla gráficamente en función de la relación $\frac{U_{n\,(fase)}}{U_c}$).
- ✓ P_c: potencia de pérdidas en [Kw/Km trifásicos].

Calculo de las pérdidas debido al Efecto Corona.

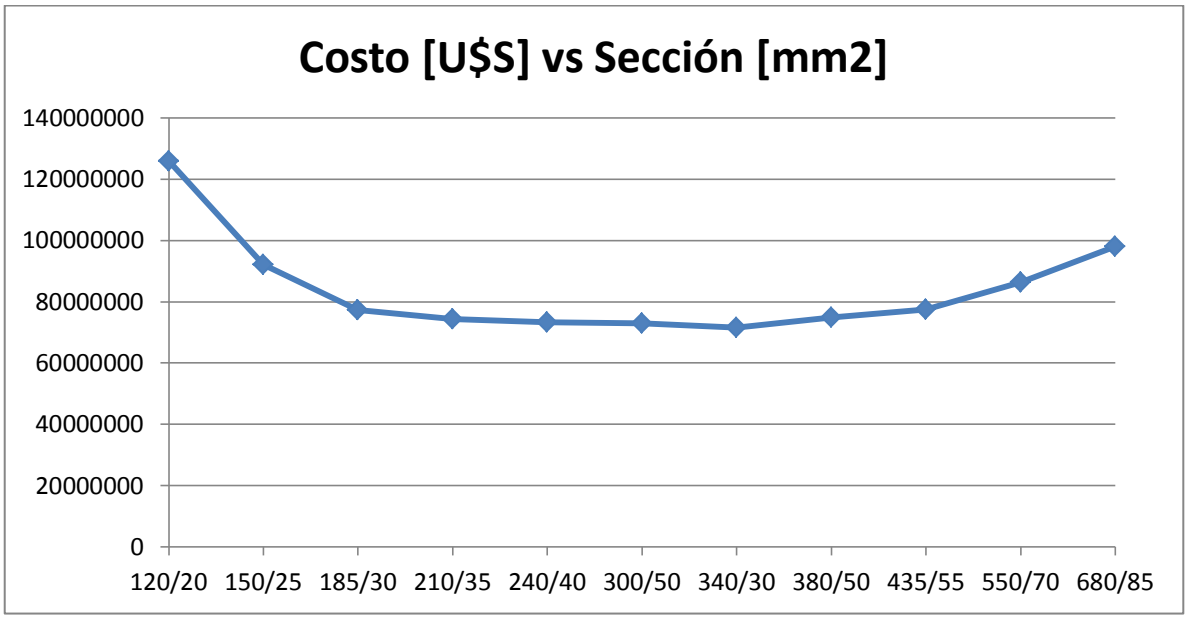
Sección [mm2]	Diametro ext [mm]	Perdidas Corona [kW/km]	Perdidas Corona Cap [U$S]	Factor Petersen
120/20	15,5	2,172841807	37781239,87	0,3
150/25	17,1	0,764830086	13298818,55	0,1
185/30	19	0,324889357	5649156,188	0,04
210/35	20,4	0,296358111	5153056,626	0,035
240/40	21,9	0,353368864	6144356,095	0,04
300/50	24,5	0,331269898	5760100,64	0,035
340/30	25	0,383422872	6666933,341	0,04
380/50	27	0,302017602	5251463,51	0,03
435/55	28,8	0,262493429	4564219,628	0,025
550/70	32,4	0,227284806	3952014,242	0,02
680/85	36	0,183470188	3190168,364	0,015

Las pérdidas por efecto corona son despreciables respecto de las pérdidas por efecto Joule, por lo tanto, para ponderar dichas pérdidas en el ejemplo se las multiplica por 7, considerando las condiciones climáticas más desfavorables que puede sufrir la línea de A.T. (Presencia de humedad, lluvia, granizo, nieve, etc.).

Los costos totales calculados para cada sección se muestran a continuación.

Sección [mm2]	Inversión Inicial [U$S]	Variable total [U$S]	Costo total [U$S]
120/20	15.294.372,47	110.629.698,52	125.924.070,99
150/25	19.117.965,58	72.930.046,31	92.048.011,89
185/30	23.437.209,66	53.907.417,83	77.344.627,49
210/35	26.765.151,82	47.571.146,47	74.336.298,29
240/40	30.588.744,93	42.722.274,15	73.311.019,09
300/50	38.235.931,17	34.653.582,13	72.889.513,30
340/30	38.660.774,85	32.824.755,41	71.485.530,26
380/50	46.095.539,24	28.827.314,90	74.922.854,14
435/55	52.397.387,16	25.035.558,64	77.432.945,80
550/70	66.275.614,02	20.120.068,78	86.395.682,80
680/85	81.711.601,05	16.284.448,27	97.996.049,32

Gráfico de costo ($) vs sección ($mm^2$)



De los cálculos realizados y del grafico obtenido se puede ver que la sección económica es: **300/50 mm²**

3.4 Conclusiones

Se puede verificar que la sección adoptada se extrae del cálculo económico, la cual es mayor a la obtenida en el cálculo eléctrico. La determinación de la sección por el cálculo económico, tiene en cuenta los costos de los conductores y montaje, las pérdidas económicas por efecto Joule y efecto corona. Además el hecho de seleccionar una sección mayor a la eléctrica permite ampliar la capacidad de transporte de energía a futuro.

Proyecto Final

Cálculo mecánico del conductor

Tópico 4

1. Introducción

El transporte de la energía eléctrica desde el punto de generación hasta los centros de distribución o consumo se realiza, como ya hemos visto anteriormente, mediante cables aislados subterráneos o mediante conductores aéreos desnudos.

En ambos casos el dimensionamiento de la sección está regido por:

- corriente a transmitir
- caída de tensión
- cortocircuito
- cálculo mecánico.

En el caso de los cables subterráneos el mismo lo realiza el fabricante, en general, y se limita a dar las pautas en cuanto a las tracciones máximas durante el tendido de cables y los radios de curvatura. En cambio la línea aérea debe ser calculada mecánicamente por el proyectista.

El cálculo mecánico consiste en la determinación de las tensiones mecánicas que soportan y las flechas que asumen los conductores de fase y el cable de guardia.

Se calculan las tensiones mecánicas para verificar que en ningún caso, cualquiera sea la carga, se supere el límite de rotura elástica o por fatiga del conductor.

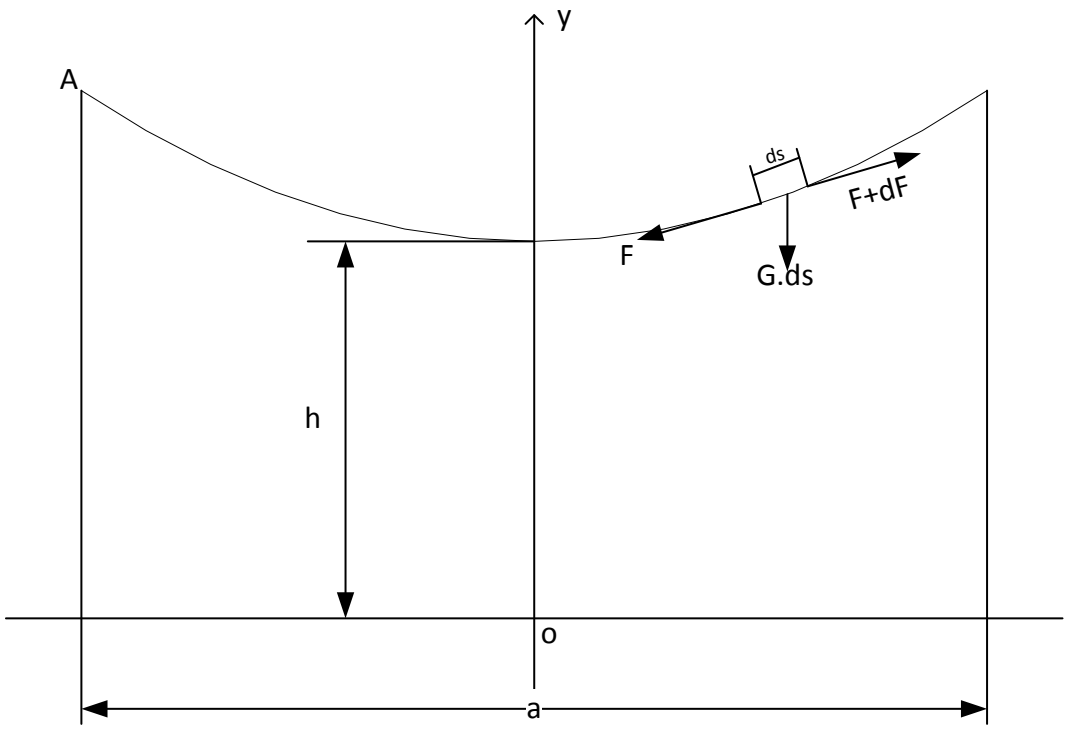
En la práctica y en base a experiencias de líneas existentes, para cada tipo de conductor y región climática, se normalizan las tensiones máximas admisibles en los conductores, para limitar las averías de las líneas eléctricas evitar el sobredimensionamiento del soporte y racionalizar los cálculos.

La flecha se calcula para que ningún caso asuma valores mayores que reduzcan la altura mínima de los conductores sobre el suelo. A igual que las tensiones, las alturas mínimas respecto al suelo se encuentran normalizadas en función de la zona que atraviesa la línea.

A continuación nos ocuparemos de analizar mecánicamente el comportamiento de los conductores para líneas aéreas eléctricas y cómo encarar los cálculos de las tensiones mecánicas y flechas de los mismos.

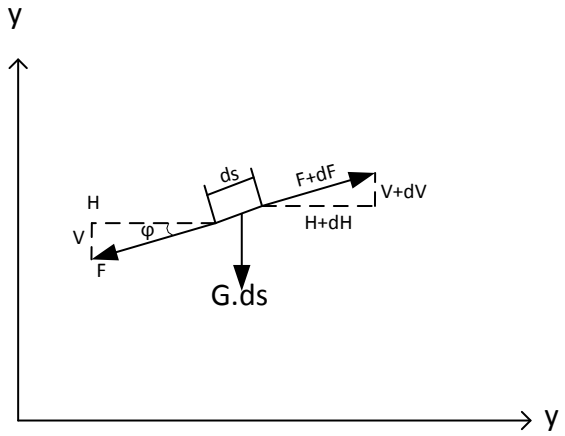
2. Desarrollo de cálculo

Supongamos tener suspendido un cable entre dos puntos fijos con vinculación de articulación libre



Si se analiza el comportamiento del conductor, podemos limitarnos a tomar elementos infinitesimales (ds) en un punto del conductor y estudiar su comportamiento.

Separando ficticiamente el segmento ds de la cuerda conformada, para mantener el equilibrio debemos sustituir por dos fuerzas.



Se pueden observar tres fuerzas, que son F, (F = DF), G. ds. Descomponiendo las mismas según los ejes x e y, tendremos las componentes según ambas direcciones, partiendo de la condición de que ser un sistema en equilibrio la sumatoria debe ser nula, dando signo positivo a los vectores que apuntan hacia arriba y hacia la derecha, tendremos:

Proyectando sobre el eje x:

$$S_x = 0 = -H + (h + dH)$$

de donde resulta que dH = 0, único resultado que satisface la igualdad. Luego se deduce que el valor de H es constante a lo largo de la cuerda en estudio.

Proyectando sobre el eje y:

$$S_y = 0 = -V + (V + dV) - G.ds$$

$$0 = dV - G.ds$$

$$dV = G.ds$$

Descomponiendo también ds según ambas direcciones:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

Multiplicando y dividiendo, el segundo término de la igualdad por dx:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}\ \frac{dx}{dx}$$

$$ds = \sqrt{\frac{dx^2}{dx^2} + \frac{dy^2}{dx^2}} \,.dx$$

Denominando a dy/dx = y, tendremos que:

$$\frac{dy^2}{dx^2} = y^2$$

luego reemplazando

$$ds = \sqrt{1^2 + y^2}.dx$$

Pero como

$$dV = G.ds$$

Entonces:

$$dV = G.\sqrt{1^2 + y^2}.dx \therefore \frac{dV}{dx} = G.\sqrt{1^2 + y^2}$$

Como la derivada en cualquier punto de la cuerda es la tangente y está en el punto que estamos analizando es igual a V/H podemos escribir que:

$$f = \frac{a^2.g}{8.p}$$

Recordando que h = H/G, la fuerza horizontal H es la tensión mecánica del conductor multiplicado por la sección, en N, en el centro del vano. A esta la denominamos Po, que también es posible expresarla como Po = po. S, donde po, es la tensión mecánica específica, en N/mm2, y S la sección del conductor. En realidad en lugar de trabajar con po correspondería usar pi que es más general, ya que la tensión mecánica a lo largo del conductor en todo el vano es variable. posteriormente se demostrará que p ≈ pi ≈ po.

Expresando el peso por unidad de longitud G también en función de la sección, se tiene que G = g.S, en donde g es el peso específico en Kg/m.mm2; por lo tanto:

$$h = \frac{H}{G} = \frac{P_o}{G} = \frac{p_o.S}{g.S} \approx \frac{p_o}{g}$$

No interesa extremar la precisión, pues se hacen una serie de consideraciones que a veces se cumplen y otras no, por ej. si se tiene en cuenta un viento de 120 Km/h, a lo mejor una sola condición. Lo mismo vale para el hielo.

Siendo h la distancia al conductor desde la osbscisa resulta que la flecha de la cuerda será:

$$f = y - h$$

Además

$$y = h + \frac{x^2}{2h}$$

La flecha será máxima en la mitad del vano a, siempre que las cargas sean uniformes y el terreno horizontal, es decir:

$$y_{max} \Rightarrow x = \frac{a}{2}$$

por lo tanto

$$y_{max} = h + \frac{\frac{a^2}{2}}{2h} = h + \frac{a^2}{8h}$$

Luego

$$f_{max} = y_{max} - h$$

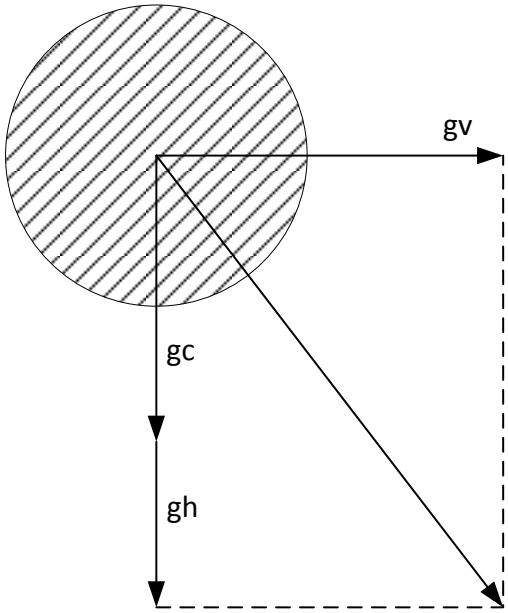
Reemplazando

$$f_{max} = h + \frac{a^2}{8h} - h = \frac{a^2}{8h}$$

$$f_{max} = \frac{a^2 . g}{8 p_o}$$

Comportamiento del conductor

El conductor está sometido a la presión del viento que puede existir o no (dependiendo de la condición climática, el peso propio y también en ciertas regiones el peso del manguito de hielo.



El valor de la carga específica g

$$g = \sqrt{{g_v}^2 + (g_c + g_h)^2} \left[\frac{kg}{m.mm^2}\right]$$

G_V =Presión del viento.

G_h = Peso del manguito de hielo.

G_c =Peso del conductor.

Todos expresados en Kg/m

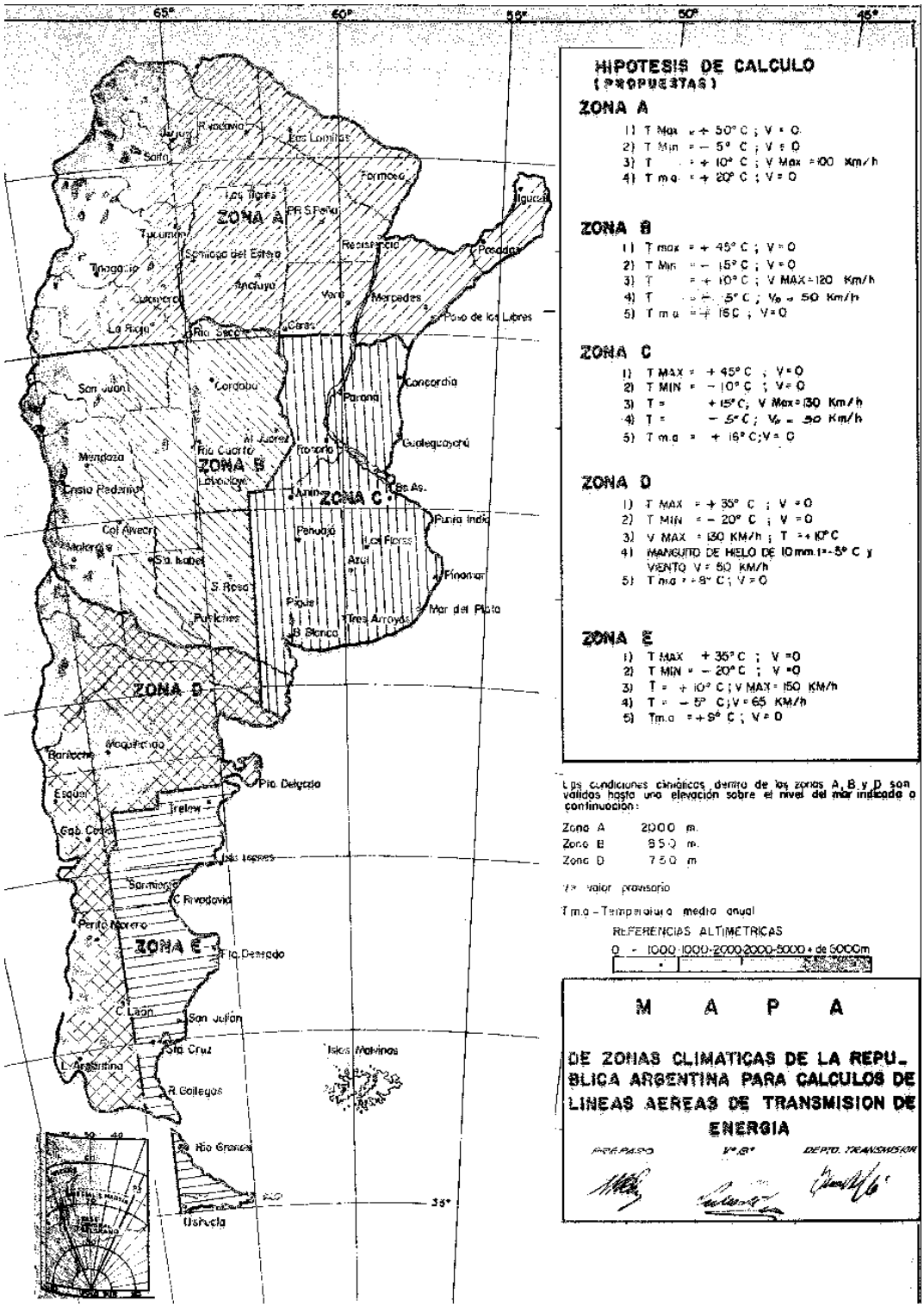
$$g_v = \frac{G_v}{S} \; ; \; g_c = \frac{G_c}{S} \; ; \; g_h = \frac{G_h}{S}$$

3. Ecuación de Cambio de Estado

Los conductores se deben tensar de modo que, sin importar la condición climática imperante, su tensión nunca supere la máxima admisible. Intuitivamente se puede establecer que si la temperatura es baja, la flecha es reducida y la tensión mecánica elevada y en cambio si la temperatura es alta el cable se afloja y por lo tanto la flecha es elevada.

Las condiciones climáticas de la zona que atraviesa la línea, que se fijan para el proyecto, se denominan estados de carga y se emplea el conjunto de las más desfavorables a criterio del proyectista experimentado en los cálculos deterministicos.

Según A y EE los estados de carga son los que se indican en la siguiente figura:


HIPOTESIS DE CALCULO
(PROPUESTAS)
ZONA A
1) T Max = + 50° C ; V = 0
2) T Min = − 5° C ; V = 0
3) T = + 10° C ; V Max = 100 Km/h
4) T m.a = + 20° C ; V = 0
ZONA B
1) T max = + 45° C ; V = 0
2) T Min = − 15° C ; V = 0
3) T = + 10° C ; V MAX = 120 Km/h
4) T = − 5° C ; Vo = 50 Km/h
5) T m.a = + 15 C ; V = 0
ZONA C
1) T MAX = + 45° C ; V = 0
2) T MIN = − 10° C ; V = 0
3) T = + 15° C; V Max = 130 Km/h
4) T = − 5° C ; Vo = 50 Km/h
5) T m.a = + 16° C; V = 0
ZONA D
1) T MAX = + 35° C ; V = 0
2) T MIN = − 20° C ; V = 0
3) V MAX = 130 KM/h ; T = + 10° C
4) MANGUITO DE HIELO DE 10 mm. t = - 5° C y VIENTO V = 50 KM/h
5) T m.a = + 8° C ; V = 0
ZONA E
1) T MAX + 35° C ; V = 0
2) T MIN = − 20° C ; V = 0
3) T = + 10° C ; V MAX = 150 KM/h
4) T = − 5° C ; V = 65 KM/h
5) Tm.a = + 8° C ; V = 0
Las condiciones climáticas dentro de las zonas A, B y D son validas hasta una elevación sobre el nivel del mar indicada a continuación:
Zona A 2000 m.
Zona B 850 m.
Zona D 750 m
(*) valor provisorio
T m.a - Temperatura media anual
REFERENCIAS ALTIMETRICAS
0 - 1000 1000-2000 2000-5000 + de 5000m
M A P A
DE ZONAS CLIMATICAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA PARA CALCULOS DE LINEAS AEREAS DE TRANSMISION DE ENERGIA
PREPARO
V°B°
DEPTO. TRANSMISION
ZONA A
ZONA B
ZONA C
ZONA D
ZONA E
Salta
Formosa
Jujuy
Los Tigres
Tucuman
Sgo. del Estero
Resistencia
Posadas
Iguazu
Tinogasta
Catamarca
Anguyo
Vera
Mercedes
La Rioja
Rio Seco
Cerro
Pozo de los Lobos
San Juan
Cordoba
Concordia
Parana
Mendoza
Rio Cuarto
Gualeguaychu
Gral. Pedernera
Junin
Bs. As.
Col. Alvear
Punta Indio
Malargue
Pehuajo
Los Flores
Sta. Isabel
Azul
Pinamar
S. Rosa
Pigue
Mar del Plata
Puelches
Tres Arroyos
B. Blanco
Bariloche
Maquinchao
Pto. Deseado
Esquel
Trelew
Gob. Costa
Las Heras
Sarmiento
C. Rivadavia
Perito Moreno
C. Laun
San Julian
Sta. Cruz
Islas Malvinas
R. Gallegos
Rio Grande
Ushuaia
65°
60°
55°
50°
45°
35°

La siguiente tabla muestra un ejemplo de estado de carga:

ESTADO	TEMPERATURA	VIENTO	
I	+45°	0Km/h	Estado de máx temp.
II	-10°	0Km/h	Mín. Temp
III	10°	100Km/h	Max. viento
IV	-5°	50Km/h	Min. viento
V	16°	0Km/h	Estado temp. media annual

Se parte de que el conductor está suspendido sobre dos puntos a igual altura en el estado 1 hay una temperatura t1 y un viento v1, el conductor tiene una longitud l1 y soporta una tensión p1.

El mismo conductor en el estado II tiene los parámetros t2,p2, v2, y l2 si t1>t2. No hay duda que el cable está dilatado con mínima tensión mecánica en el estado I, siendo el estado 1 más favorable que el 2.

La ecuación catenaria que representa la longitud del conductor en un vano:

$$L = \int_0^X \sqrt{1 + \frac{d^2y}{d^2x}}\, dx$$

Desarrollando la fórmula anterior e integrando a lo largo del vano se obtiene:

$$L = a + \frac{a^3}{24}\left(\frac{g}{P}\right)^2$$

Analizando luego la influencia de la temperatura y la carga tendremos:

Estado 1

$$L_1 = a + \frac{a^3}{24}\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2$$

Estado 2

$$L_2 = a + \frac{a^3}{24}\left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 = \frac{a^3}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right]$$

Analizando la influencia del coeficiente de dilatación sería:

$$\Delta L_\alpha = \alpha L_2 \, \Delta t = \alpha L_2 (t_1 - t_2)$$

Analizando la influencia del módulo de dilatación sería:

$$\Delta L_E = L_1 - L_2 = \frac{P_1 - P_2}{E} L_2 = \frac{\Delta P}{E} L_2$$

Con la igualación:

$$\frac{a^3}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right] = \alpha L_2 (t_1 - t_2) + \frac{P_1 - P_2}{E} L_2$$

Esta última ecuación es la de cambio de estado.

Para vanos normales L2 ≈ a, entonces:

$$\frac{a^2}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right] = \alpha (t_1 - t_2) + \frac{P_1 - P_2}{E}$$

Ecuación de cambio de estado simplificado:

$$\frac{a^2}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right] = \alpha (t_1 - t_2) + \frac{P_1 - P_2}{E}$$

Denominamos $\beta = \frac{1}{E}$

$$\frac{a^2}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right] = \alpha t_1 - \alpha t_2 + \beta P_1 - \beta P_2$$

Separando las variables correspondientes a los dos estados a ambos lados:

$$\frac{a^2 \left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2}{24} - \alpha t_1 - \beta P_1 = \frac{a^2 \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2}{24} - \alpha t_2 - \beta P_2$$

Operando finalmente se obtiene:

$$P_2{}^3 + P_2{}^2 \left[\frac{1}{24\beta}\left(a\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - P_1 + \frac{\alpha}{\beta} t_2 - \frac{\alpha}{\beta} t_1\right] = \frac{a^2 g_2{}^2}{24\beta}$$

Agrupando algunos términos:

$$P_2{}^3 + P_2{}^2\left[\frac{1}{24\beta}\left(a\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - P_1 + \frac{\alpha}{\beta}(t_2 - t_1)\right] = \frac{(ag_2)^2}{24\beta}$$

Finalmente agrupando en potencias de P2

$$A = \frac{1}{24\beta}\left(a\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - P_1 + \frac{\alpha}{\beta}(t_2 - t_1)$$

$$B = \frac{1}{24\beta}(ag_2)^2$$

Quedando

$$\boxed{P_2{}^3 + AP_2{}^2 = B}$$

Vanos críticos

Para el cálculo mecánico se consideran distintos estados climáticos, evidentemente uno de ellos es el que produce la condición más desfavorable en el conductor, es decir provoca la máxima tensión mecánica. A ese estado se lo denomina básico. En la práctica se da según la ubicación de la línea, una zona de condición climática, por lo tanto entre cada par de condiciones climáticas obtendremos lo que llamamos vano crítico.

Para definir el vano crítico debemos realizar los siguientes análisis:

Para vanos pequeños:

$$a \to 0$$

$$0 = \alpha(t_1 - t_2) + \frac{P_1 - P_2}{E}$$

$$\alpha(t_1 - t_2) = \frac{P_2 - P_1}{E}$$

Podemos apreciar que en esta ecuación no interviene la carga específica g, la influencia predominante es la temperatura, es decir para vanos chicos, las variaciones de la tensión mecánica en el conductor, estará denominada por la variación de la temperatura.

Vanos grandes:

$$a \to \infty$$

Dividiendo la ecuación por a^2

$$\frac{1}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2-\left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right]=\frac{1}{a^2}\left(\alpha(t_1-t_2)+\frac{P_1-P_2}{E}\right)$$

$$\frac{1}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2-\left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right]=0$$

$$\frac{g_1}{P_1}=\frac{g_2}{P_2}$$

Aquí no interviene la temperatura más si lo hace la carga específica.

Se define entonces al vano crítico como aquel que frente a una disminución de la tensión mecánica ocasionada por el incremento de la temperatura es compensado por el aumento de la tensión debido al incremento de la carga específica, es un vano en que la tensión mecánica es constante frente a una pequeña variación de la temperatura y de la carga específica.

Cálculo del vano crítico

Partiendo de la ecuación general de estado simplificada

$$\frac{a^2}{24}\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2-\left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right]=\alpha(t_1-t_2)+\frac{P_1-P_2}{E}$$

Recordando que para el vano crítico P= cte.

$$\frac{{a_c}^2}{24}\left(\frac{{g_1}^2-{g_2}^2}{P^2}\right)==\alpha(t_1-t_2)$$

Finalmente

$$a_c=P\sqrt{\frac{24\,\alpha\,(t_1-t_2)}{{g_1}^2-{g_2}^2}}\;para\;P_1=P_2$$

Esta ecuación es válida si analizamos dos condiciones climáticas donde la tensión mecánica es constante.

Por lo general esto NO es así, entonces la ecuación para el cálculo del vano crítico es la siguiente:

$$a_c = \sqrt{\frac{24[\alpha E(t_1 - t_2) + P_1 - P_2]}{E\left[\left(\frac{g_1}{P_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{P_2}\right)^2\right]}}$$

4. Estado básico

Se ha visto que entre dos condiciones climáticas, existe un vano crítico que afecte los vanos en que prevalece una de las condiciones climáticas, la que produce la condición más desfavorable en el conductor, es decir provoca la máxima tensión mecánica. A esta condición climática la denominamos estado básico.

En general, entre dos condiciones climáticas existirá un vano crítico, luego para los vanos menores al crítico prevalecerá una de las condiciones climáticas (estado básico) y para vanos mayores al crítico la otra condición climática será el estado básico.

Sin embargo en la práctica son dadas varias condiciones climáticas según las zonas que atraviesa la línea por lo tanto entre cada par de condiciones climáticas se determinan los correspondientes vanos críticos y se deducen los respectivos estados básicos. De este conjunto de estado básico se debe establecer él estado básico correspondiente a la línea.

Con distintas condiciones climáticas, debemos encontrar los vanos críticos, efectuando todas las combinaciones posibles entre las misma. No se compara con el estado de máxima temperatura pues este no puede ser estado básico, en general obtendremos resultados reales, imaginarios e infinitos.

Vanos críticos reales

-Cuando el vano crítico resulte un valor real para vanos menores al crítico, el estado básico será la condición climática de menor g/P.

-Para vanos mayores al crítico será la condición climática de mayor g/P.

Vanos críticos imaginarios

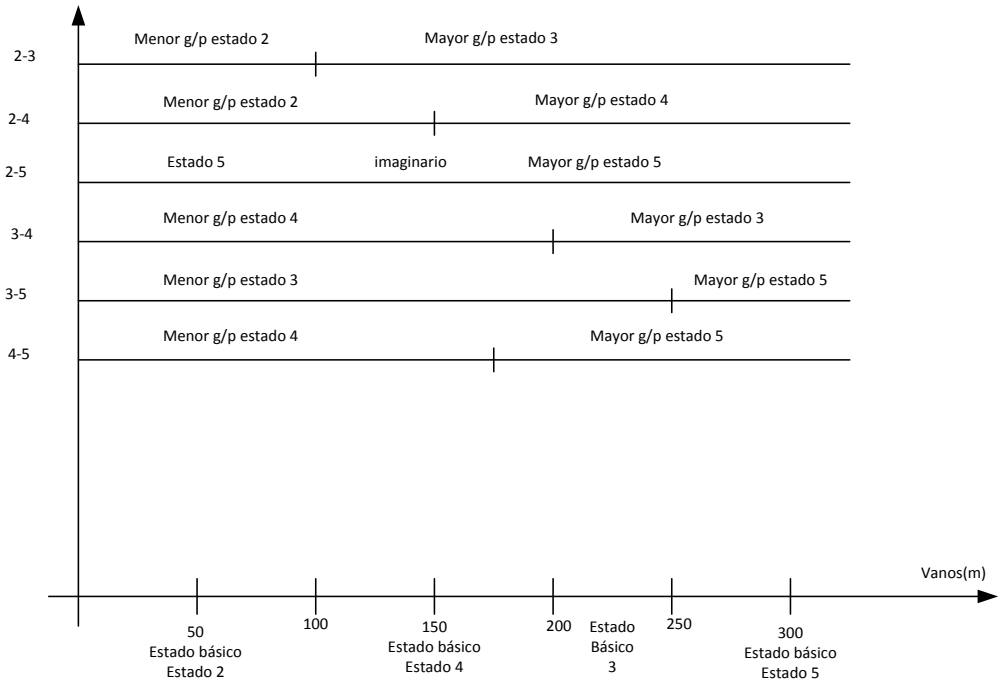
-Cuando el vano crítico es imaginario, la condición climática que será estado básico corresponderá al estado de mayor g/P

Vanos críticos infinitos

No se da en la práctica, por lo tanto no se analizan.

Determinación del estado básico para un conjunto de condiciones climáticas

Para determinar el estado básico para la condición climática establecida por donde pasa la línea, lo que se realiza es combinar los estados de a dos hasta combinar todas las posibilidades (sin considerar el estado de mayor temperatura dado que la tensión mecánica es mínima, que corresponde a la flecha máxima, es decir nunca puede ser estado básico). Para cada comparación se obtendrá un vano crítico y efectuando esta operación entre todas las combinaciones posibles, con las diversas condiciones climáticas, tendremos una serie de vanos críticos, graficando todas las comparaciones obtendremos el siguiente gráfico:



Analizando este diagrama vemos que se puede llegar a determinar los distintos estados básicos que corresponden para cada vano en estudio.

Consideraciones para el cálculo mecánico del hilo de guardia

-La flecha del cable de guardia al estado de temperatura media anual es el 90% del conductor de fase en el mismo estado.

-Se debe tener presente que no se deben superar los 30 kg/mm^2 que es la máxima tensión admisible del acero.

5. Cálculos

5.1 Definición de la zona climática donde se encuentra la traza de la LAT

De acuerdo a la reglamentación de la **AEA 95.301**, la región climática será la “Zona C”, donde no se consideran la existencia de manguitos de hielo sobre los conductores.

5.2 Estados climáticos correspondientes

Designación	Nombre	Temp (°C)	Viento Km/h	Viento m/s
1	Estado de max. temp.	45	0	0
2	Estado de min. temp.	-10	0	0
3	Estado de max. Viento	15	130	36,11
4	Estado de min viento	-5	30	8,33
5	Estado de temp. Media anual	16	0	0

5.3 Características físicas y mecánicas de los conductores de fase

Coeficiente de dilatacion lineal del acero	0,00001	1/°C
Coeficiente de dilatacion lineal del aluminio	0,000023	1/°C
Coeficiente de dilatacion lineal para todo el cable	0,0000189	1/°C
Modulo de elasticidad de la cub. De Al	5700	Kg/mm2
Modulo de elasticidad de la cub. De Acero	18000	Kg/mm2
Modulo de elasticidad para todo el cable	7700	Kg/mm2
Tension max. Admisible para la cubierta de Al	8	Kg/mm2
Temp media anual	16	°C
Tensión media anual, para un vano de 500m	5,2	Kg/mm2
Longitud del vano	250	m
Sigma max a temp. Media anual	5,757	Kg/mm2
Seccion del AL	300	mm2
Seccion del acero	50	mm2
Seccion total del conductor	350	mm2
Peso por kilometro	1230	Kg/Km
Diamentro exterior aprox. Del cable de fase según catalogo	0,0245	m
Coef. Desigualdad del viento en el vano (v<110km/h)	0,85	
Coef. Desigualdad del viento en el vano (v>110km/h)	0,75	
Coef. Aerodinamico	1,1	
Diamentro exterior aprox. Del cable de hg según catalogo	0,009	m
Seccion total del hilo de guardia	63,61	mm2
Peso por kilometro del hilo de guardia	420	Kg/Km

5.4 Cálculo de las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas

Las tensiones que se calculen en los siguientes pasos deberán ser comparadas a las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas.

- La tensión inicial de la cubierta de aluminio: $\sigma_{al} = (\alpha_{al} - \alpha) * (15 - t) * E_{al}$

  (La temperatura de fabricación del conductor se considera de 15º)

- La tensión máxima admisible en la cubierta de aluminio, debida a fuerzas externas:

$$\sigma'_{al} = \sigma_{al(max)} - \sigma_{al}$$

- La tensión máxima admisible del conductor Al/Ac, será entonces:

$$\sigma_{max} = \sigma'_{al} * \frac{E}{E_{al}}$$

t	σ al	σ 'al	σ max
ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
-20	0,818	7,182	9,702
-15	0,701	7,299	9,860
-10	0,584	7,416	10,018
-5	0,467	7,533	10,176
0	0,351	7,649	10,333
5	0,234	7,766	10,491
10	0,117	7,883	10,649
15	0,000	8,000	10,807
16	-0,023	8,023	10,839
20	-0,117	8,117	10,965
25	-0,234	8,234	11,123
45	-0,701	8,701	11,754

- **Cálculo Adicional:**
  Se deberá cerificar que la tensión mecánica a la temperatura media anual (16ºC) y sin carga del viento so supere el valor de la siguiente ecuación:

  $\sigma_{ma} = 5{,}2.[1 + 0{,}15 * (\frac{500-a}{350})]$ *5,2 kg/mm2 es la tensión media anual, para un vano de 500m, dada por la norma VDE 210/5.69*

  Para nuestro vano de 250m $\sigma_{ma} = 5{,}757\,\frac{kg}{mm^2}$

5.5 Cálculo de las cargas específicas para cada estado climático.

Los conductores están sometidos a su peso propio a la presión del viento (según el estado climático considerado), la carga específica total será:

$g = \sqrt{g_c^2 + g_v^2}$ en kg/mm2.

Donde $g_c = \frac{P_c}{1000 * S_c}$ y $g_v = \alpha * k * \frac{v^2}{16} * d_c$ α = 0,75; k=1,1; v=36,11m/s.

Estados	Fv kg	gv Kg/m. mm2	gc Kg/m. mm2	g Kg/m. mm2
1	0,00	0,0000000	0,0035143	0,0035143
2	0,00	0,0000000	0,0035143	0,0035143
3	1,65	0,0047064	0,0035143	0,0058737
4	0,10	0,0002838	0,0035143	0,0035257
5	0,00	0,0000000	0,0035143	0,0035143

5.6 Determinación del estado básico

Estados	ti ºC	tf ºC	gi Kg/m. mm2	gf Kg/ mxmm2	Pi Kg/mm2	Pf Kg/mm2	Vano Critico m	G/P g/Pi	g/Pf
2-3	-10	15	0,0035	0,0059	10,018	10,807	282,978	0,00035	0,00054
2-4	-10	-5	0,0035	0,0035	10,018	10,176	500,000	0,00035	0,00035
2-5	-10	16	0,0035	0,0035	10,018	5,757	500,000	0,00035	0,00061
3-4	15	-5	0,0059	0,0035	10,807	10,176	250,921	0,00054	0,00035
3-5	15	16	0,0059	0,0035	10,807	5,757	500,000	0,00054	0,00061
4-5	-5	16	0,0035	0,0035	10,176	5,757	500,000	0,00035	0,00061

Graficamente

Estado	Estado	Vano Critico m	menores al critico	mayores al critico
2	3	282,978	2	3
2	4	500,000	2	2
2	5	500,000	5	5
3	4	250,921	4	3
3	5	500,000	5	5
4	5	500,000	5	5

Para nuestro vano en cuestión, de 250m, el estado que más se repite es el Estado Básico 5. El mismo se tomará como comparador para el cálculo de las tensiones mecánicas admisibles de los demás estados.

5.7 Obtención de las tensiones mecánicas sobre los conductores y fase y verificaciones

Se calculan las tensiones según la Ecuación del Cambio de Estado

	P2 Kg/mm2	A	B
Estado 1	4,802	5,93	247,65
Estado 2	7,050	-2,07	247,65
Estado 3	8,351	1,57	691,80
Estado 4	6,774	-1,34	249,26
Estado 5	5,757		

Se verifica que las tensiones mecánicas calculadas no superan las máximas tensiones admisibles para cada vano y estado climático.

5.8 Cálculo de tiros y flechas

Los tiros se obtienen del producto entre la tensión mecánica y la sección total del conductor.

	Tiros (Kg)	flechas (m)
Estado 1	1680,7	5,717
Estado 2	2467,5	3,894
Estado 3	2922,85	5,495
Estado 4	2370,9	4,066
Estado 5	2014,95	4,769

5.9 Cálculo del hilo de guardia

Los cálculos se basarán en las características del hilo de guardia elegido:

Tipo: Acero

Diámetro aproximado: 9mm

Peso: 420 kg/km

Carga específica para hilo de guardia

Fvhg kg	gvhg Kg/m.mm2	ghg Kg/m.mm2	g Kg/m.mm2
0,000000	0,000000	0,006603	0,006603
0,000000	0,000000	0,006603	0,006603
0,605106	0,009513	0,006603	0,011580
0,036494	0,000574	0,006603	0,006628
0,000000	0,000000	0,006603	0,006603

Calc. Flechas max de hg	
	Flechas máx Hg m
Estado 1	5,146
Estado 2	3,505
Estado 3	4,945
Estado 4	3,660
Estado 5	4,292

Calculó de la tensión mecánica de comparación

Para el cálculo de tensiones en los conductores de fase se definió como estado base al estado de temperatura media anual, pero para el cálculo del cable de guardia tomaremos como base de comparación al estado base 2, que es el estado de menor temperatura. Ya que de lo contrario los valores obtenidos tomando como comparador el estado 5, superan los valores permitidos por norma, tanto de flechas como de tiros máximos.

	Recálculo flechas m	**Tiros (Kg)**
Estado 1	4,557	720,065
Estado 2	3,505	936,148
Estado 3	4,835	1190,143
Estado 4	3,606	913,440
Estado 5	4,002	819,933

Estos resultados comprueban que las flechas del hilo de guardia son del orden del 90% de las flechas de los conductores de fase.

Datos proyecto		
Coeficiente de dilatacion lineal del acero	0,00001	1/°C
Coeficiente de dilatacion lineal del aluminio	0,000023	1/°C
Coeficiente de dilatacion lineal para todo el cable	0,0000189	1/°C
Modulo de elasticidad de la cub. De Al	5700	Kg/mm2
Modulo de elasticidad de la cub. De Acero	18000	Kg/mm2
Modulo de elasticidad para todo el cable	7700	Kg/mm2
Tension max. Admisible para la cubierta de Al	8	Kg/mm2
Temp media anual	16	°C
Tensión media anual, para un vano de 500m	5,2	Kg/mm2
Sigma max a temp. Media anual	19,393	Kg/mm2
Seccion del AL	300	mm2
Seccion del acero	50	mm2
Seccion total del conductor	350	mm2
Peso por kilometro	1230	Kg/Km
Diamentro exterior aprox. Del cable de fase según catalogo	0,0245	m
Coef. Desigualdad del viento en el vano (v<110km/h)	0,85	
Coef. Desigualdad del viento en el vano (v>110km/h)	0,75	
Coef. Aerodinamico	1,1	
Diamentro exterior aprox. Del cable de hg según catalogo	0,009	m
Seccion total del hilo de guardia	63,61	mm2
Peso por kilometro del hilo de guardia	420	Kg/Km

4-Cálculo de las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas			
t	sal	s'al	smax
ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
-20	0,81795	7,18205	9,702067544
-15	0,7011	7,2989	9,859917544
-10	0,58425	7,41575	10,01776754
-5	0,4674	7,5326	10,17561754
0	0,35055	7,64945	10,33346754
5	0,2337	7,7663	10,49131754
10	0,11685	7,88315	10,64916754
15	0	8	10,80701754
16	-0,02337	8,02337	10,83858754
20	-0,11685	8,11685	10,96486754
25	-0,2337	8,2337	11,12271754
45	-0,7011	8,7011	11,75411754

Designacion	Nombre	Temp (°C)	Viento Km/h	Viento m/s
1	Estado de max. temp.	45	0	0
2	Estado de min. temp.	-10	0	0
3	Estado de max. Viento	15	130	36,11
4	Estado de min viento	-5	30	8,33
5	Estado de temp. Media anual	16	0	0

ESTADO	t	sal	s'al	smax	smax hg
	ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
1	45	-0,7011	8,7011	11,75411754	24,53772798
2	-10	0,58425	7,41575	10,01776754	20,91294851
3	15	0	8	10,80701754	23,67272387
4	-5	0,4674	7,5326	10,17561754	21,25330298
5	16	-0,02337	8,02337	5,98	12,48376263

5-Carga especifica para conductor principal				
Estados	Fv	gv	gc	g
1	0	0	0,003514286	0,003514286
2	0	0	0,003514286	0,003514286
3	1,647232973	0,00470638	0,003514286	0,005873688
4	0,099345389	0,000283844	0,003514286	0,00352573
5	0	0	0,003514286	0,003514286

9.1 - Carga especifica para hilo de guardia			
Fvhg	gvhg	ghg	g
0	0	0,006602735	0,006602735
0	0	0,006602735	0,006602735
0,60510599	0,009512749	0,006602735	0,01157966
0,036494225	0,000573718	0,006602735	0,006627614
0	0	0,006602735	0,006602735

6 - Determinación del estado básico									
Estados	ti	tf	gi	gf	Pi	Pf	Vano Critico	Valores G/P	
	ºC	ºC	Kg/m mm2	Kg/m mm2	Kg/m	Kg/m	m	G/Pi	G/Pf
2-3	-10	15	0,003514286	0,005873688	10,01776754	10,80701754	282,9777593	0,000350805	0,000543507
2-4	-10	-5	0,003514286	0,00352573	10,01776754	10,17561754	500	0,000350805	0,000346488
2-5	-10	16	0,003514286	0,003514286	10,01776754	5,98	500	0,000350805	0,000587673
3-4	15	-5	0,005873688	0,00352573	10,80701754	10,17561754	250,9209353	0,000543507	0,000346488
3-5	15	16	0,005873688	0,003514286	10,80701754	5,98	500	0,000543507	0,000587673
4-5	-5	16	0,00352573	0,003514286	10,17561754	5,98	500	0,000346488	0,000587673

Grafico de estados				
Estado	Estado	Vano Critico	Estado basico para vanos menores al critico	Estado basico para vanos mayores al critico
		m		
2	3	282,9777593	2	3
2	4	500	2	2
2	5	500	5	5
3	4	250,9209353	4	3
3	5	500	5	5
4	5	500	5	5

Estado critico:	5
Temp estado critico:	16
smax estado critico:	5,98

G/P de estado critico	0,000587673

7 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre conductores de fase			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	4,23571719	0,733435953	89,15303571
2	8,50361	-7,270714047	89,15303571
3	7,764	-3,632464047	249,0484347
4	7,959	-6,543064047	89,73463162
5	5,98		

9.3 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre el hilo de guardia			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	12,185	-7,23229172	735,6844408
2	17,75201484		
3	18,939	-12,63229172	2262,743714
4	18,424	-16,23229172	741,2388935
5	15,509	-12,45229172	735,6844408

8- Calculo de tiros y flechas		
Estado	Tiros (Kg)	flechas (m)
1	1482,501016	2,333472262
2	2976,2635	1,162321481
3	2717,4	2,127736834
4	2785,65	1,245899661
5	2093	1,652830865

9.2 - Calc. Flechas max de hg		
Estado	flechas(m)	
1	2,100125036	
2	1,046089333	
3	1,914963151	
4	1,121309695	
5	1,487547778	

9.4 - Cálculo de la tensión mecánica de comparación para el hg		
Estado	ecálculo flecha	Tiros (Kg)
1	1,524020793	775,08785
2	1,046089333	1129,205664
3	1,719615218	1204,70979
4	1,011732765	1171,95064
5	1,197381737	986,52749

4-Cálculo de las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas			
t	sal	s'al	smax
ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
-20	0,81795	7,18205	9,702067544
-15	0,7011	7,2989	9,859917544
-10	0,58425	7,41575	10,01776754
-5	0,4674	7,5326	10,17561754
0	0,35055	7,64945	10,33346754
5	0,2337	7,7663	10,49131754
10	0,11685	7,88315	10,64916754
15	0	8	10,80701754
16	-0,02337	8,02337	10,83858754
20	-0,11685	8,11685	10,96486754
25	-0,2337	8,2337	11,12271754
45	-0,7011	8,7011	11,75411754

Designacion	Nombre	Temp (°C)	Viento Km/h	Viento m/s
1	Estado de max. temp.	45	0	0
2	Estado de min. temp.	-10	0	0
3	Estado de max. Viento	15	130	36,11
4	Estado de min viento	-5	30	8,33
5	Estado de temp. Media anual	16	0	0

ESTADO	t	sal	s'al	smax	smax hg
	ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
1	45	-0,7011	8,7011	11,75411754	24,53772798
2	-10	0,58425	7,41575	10,01776754	20,91294851
3	15	0	8	10,80701754	23,67272387
4	-5	0,4674	7,5326	10,17561754	21,25330298
5	16	-0,02337	8,02337	5,868571429	12,25114594

5-Carga especifica para conductor principal				
Estados	Fv	gv	gc	g
1	0	0	0,003514286	0,003514286
2	0	0	0,003514286	0,003514286
3	1,647232973	0,00470638	0,003514286	0,005873688
4	0,099345389	0,000283844	0,003514286	0,00352573
5	0	0	0,003514286	0,003514286

9.1 - Carga especifica para hilo de guardia			
Fvhg	gvhg	ghg	g
0	0	0,006602735	0,006602735
0	0	0,006602735	0,006602735
0,60510599	0,009512749	0,006602735	0,01157966
0,036494225	0,000573718	0,006602735	0,006627614
0	0	0,006602735	0,006602735

6 - Determinación del estado básico									
Estados	ti	tf	gi	gf	Pi	Pf	Vano Critico	Valores G/P	
	ºC	ºC	Kg/m mm2	Kg/m mm2	Kg/m	Kg/m	m	G/Pi	G/Pf
2-3	-10	15	0,003514286	0,005873688	10,01776754	10,80701754	282,9777593	0,000350805	0,000543507
2-4	-10	-5	0,003514286	0,00352573	10,01776754	10,17561754	500	0,000350805	0,000346488
2-5	-10	16	0,003514286	0,003514286	10,01776754	5,868571429	500	0,000350805	0,000598832
3-4	15	-5	0,005873688	0,00352573	10,80701754	10,17561754	250,9209353	0,000543507	0,000346488
3-5	15	16	0,005873688	0,003514286	10,80701754	5,868571429	500	0,000543507	0,000598832
4-5	-5	16	0,00352573	0,003514286	10,17561754	5,868571429	500	0,000346488	0,000598832

Grafico de estados				
Estado	Estado	Vano Critico	Estado basico para vanos	Estado basico para vanos
		m	menores al critico	mayores al critico
2	3	282,978	2	3
2	4	500,000	2	2
2	5	500,000	5	5
3	4	250,921	4	3
3	5	500,000	5	5
4	5	500,000	5	5

Estado critico:	5
Temp estado critico:	16
smax estado critico:	5,868571429

G/P de estado critico	0,000598832

7 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre conductores de fase			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	4,58513	2,953821935	158,4942857
2	7,7139	-5,050328065	158,4942857
3	8,123	-1,412078065	442,7527728
4	7,309	-4,322678065	159,528234
5	5,869		

9.3 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre el hilo de guardia			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	13,83	-6,98757613	1307,88345
2	16,10342752		
3	21,28	-12,38757613	4022,655492
4	19,47	-15,98757613	1317,758033
5	16,83	-12,20757613	1307,88345

8- Calculo de tiros y flechas		
Estado	Tiros (Kg)	flechas (m)
1	1604,7955	3,832263986
2	2699,865	2,277891672
3	2843,05	3,615467472
4	2558,15	2,41190992
5	2054,15	2,993939099

9.2 - Calc. Flechas max de hg		
Estado	flechas(m)	
1	3,449	
2	2,050	
3	3,254	
4	2,171	
5	2,695	

9.4 - Cálculo de la tensión mecánica de comparación para el hg		
Estado	ecálculo flecha	Tiros (Kg)
1	2,387106081	879,7263
2	2,050102505	1024,339024
3	2,72078468	1353,6208
4	1,702006685	1238,4867
5	1,961596975	1070,5563

4-Cálculo de las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas			
t	sal	s'al	smax
ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
-20	0,81795	7,18205	9,70206754
-15	0,7011	7,2989	9,85991754
-10	0,58425	7,41575	10,0177675
-5	0,4674	7,5326	10,1756175
0	0,35055	7,64945	10,3334675
5	0,2337	7,7663	10,4913175
10	0,11685	7,88315	10,6491675
15	0	8	10,8070175
16	-0,02337	8,02337	10,8385875
20	-0,11685	8,11685	10,9648675
25	-0,2337	8,2337	11,1227175
45	-0,7011	8,7011	11,7541175

Designacion	Nombre	Temp (°C)	Viento Km/h	Viento m/s
1	Estado de max. temp.	45	0	0
2	Estado de min. temp.	-10	0	0
3	Estado de max. Viento	15	130	36,11
4	Estado de min viento	-5	30	8,33
5	Estado de temp. Media anual	16	0	0

ESTADO	t	sal	s'al	smax	smax hg
	ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
1	45	-0,7011	8,7011	11,75411754	24,53772798
2	-10	0,58425	7,41575	10,01776754	20,91294851
3	15	0	8	10,80701754	23,67272387
4	-5	0,4674	7,5326	10,17561754	21,25330298
5	16	-0,02337	8,02337	5,868571429	12,25114594

5-Carga especifica para conductor principal				
Estados	Fv	gv	gc	g
1	0	0	0,00351429	0,00351429
2	0	0	0,00351429	0,00351429
3	1,647232973	0,00470638	0,00351429	0,00587369
4	0,099345389	0,000283844	0,00351429	0,00352573
5	0	0	0,00351429	0,00351429

9.1 - Carga especifica para hilo de guardia			
Fvhg	gvhg	ghg	g
0	0	0,006602735	0,00660274
0	0	0,006602735	0,00660274
0,60510599	0,009512749	0,006602735	0,01157966
0,036494225	0,000573718	0,006602735	0,00662761
0	0	0,006602735	0,00660274

6 - Determinación del estado básico									
Estados	ti	tf	gi	gf	Pi	Pf	Vano Critico	Valores G/P	
	ºC	ºC	Kg/m mm2	Kg/m mm2	Kg/m	Kg/m	m	G/Pi	G/Pf
2-3	-10	15	0,00351429	0,00587369	10,0177675	10,80701754	282,9777593	0,000350805	0,00054351
2-4	-10	-5	0,00351429	0,00352573	10,0177675	10,17561754	500	0,000350805	0,00034649
2-5	-10	16	0,00351429	0,00351429	10,0177675	5,757142857	500	0,000350805	0,00061042
3-4	15	-5	0,00587369	0,00352573	10,8070175	10,17561754	250,9209353	0,000543507	0,00034649
3-5	15	16	0,00587369	0,00351429	10,8070175	5,757142857	500	0,000543507	0,00061042
4-5	-5	16	0,00352573	0,00351429	10,1756175	5,757142857	500	0,000346488	0,00061042

Grafico de estados				
Estado	Estado	Vano Critico	Estado basico para vanos menores al critico	Estado basico para vanos mayores al critico
		m		
2	3	282,978	2	3
2	4	500,000	2	2
2	5	500,000	5	5
3	4	250,921	4	3
3	5	500,000	5	5
4	5	500,000	5	5

Estado critico:	5
Temp estado critico:	16
smax estado critico:	5,75714286

G/P de estado critico	0,000610422

7 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre conductores de fase			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	4,802	5,934930528	247,647321
2	7,05	-2,069219472	247,647321
3	8,351	1,569030528	691,801208
4	6,774	-1,341569472	249,262866
5	5,757		

9.3 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre el hilo de guardia			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	11,32	4,618186534	2043,567891
2	14,717		
3	18,71	-0,781813466	6285,399207
4	14,36	-4,381813466	2058,996926
5	12,89	-0,601813466	2043,567891

8- Calculo de tiros y flechas		
Estado	Tiros (Kg)	flechas (m)
1	1680,7	5,717483787
2	2467,5	3,8943769
3	2922,85	5,494933667
4	2370,9	4,066248157
5	2014,95	4,769038934

9.2 - Calc. Flechas max de hg		
Estado	flechas(m)	
1	5,146	
2	3,505	
3	4,945	
4	3,660	
5	4,292	

9.4 - Cálculo de la tensión mecánica de comparación para el hg		
Estado	Recálculo flechas	Tiros (Kg)
1	4,556879016	720,0652
2	3,505053371	936,14837
3	4,835173202	1190,1431
4	3,605726645	913,4396
5	4,001851859	819,9329

4-Cálculo de las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas			
t	sal	s'al	smax
ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
-20	0,81795	7,18205	9,70206754
-15	0,7011	7,2989	9,85991754
-10	0,58425	7,41575	10,0177675
-5	0,4674	7,5326	10,1756175
0	0,35055	7,64945	10,3334675
5	0,2337	7,7663	10,4913175
10	0,11685	7,88315	10,6491675
15	0	8	10,8070175
16	-0,02337	8,02337	10,8385875
20	-0,11685	8,11685	10,9648675
25	-0,2337	8,2337	11,1227175
45	-0,7011	8,7011	11,7541175

Designacion	Nombre	Temp (°C)	Viento Km/h	Viento m/s
1	Estado de max. temp.	45	0	0
2	Estado de min. temp.	-10	0	0
3	Estado de max. Viento	15	130	36,11
4	Estado de min viento	-5	30	8,33
5	Estado de temp. Media anual	16	0	0

ESTADO	t	sal	s'al	smax	smax hg
	ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
1	45	-0,7011	8,7011	11,75411754	24,53772798
2	-10	0,58425	7,41575	10,01776754	20,91294851
3	15	0	8	10,80701754	23,67272387
4	-5	0,4674	7,5326	10,17561754	21,25330298
5	16	-0,02337	8,02337	5,868571429	12,25114594

5-Carga especifica para conductor principal				
Estados	Fv	gv	gc	g
1	0	0	0,00351429	0,00351429
2	0	0	0,00351429	0,00351429
3	1,647232973	0,00470638	0,00351429	0,00587369
4	0,099345389	0,000283844	0,00351429	0,00352573
5	0	0	0,00351429	0,00351429

9.1 - Carga especifica para hilo de guardia			
Fvhg	gvhg	ghg	g
0	0	0,006602735	0,00660274
0	0	0,006602735	0,00660274
0,60510599	0,009512749	0,006602735	0,01157966
0,036494225	0,000573718	0,006602735	0,00662761
0	0	0,006602735	0,00660274

6 - Determinación del estado básico									
Estados	ti	tf	gi	gf	Pi	Pf	Vano Critico	Valores G/P	
	ºC	ºC	Kg/m mm2	Kg/m mm2	Kg/m	Kg/m	m	G/Pi	G/Pf
2-3	-10	15	0,00351429	0,00587369	10,0177675	10,80701754	282,9777593	0,000350805	0,00054351
2-4	-10	-5	0,00351429	0,00352573	10,0177675	10,17561754	500	0,000350805	0,00034649
2-5	-10	16	0,00351429	0,00351429	10,0177675	5,645714286	500	0,000350805	0,00062247
3-4	15	-5	0,00587369	0,00352573	10,8070175	10,17561754	250,9209353	0,000543507	0,00034649
3-5	15	16	0,00587369	0,00351429	10,8070175	5,645714286	500	0,000543507	0,00062247
4-5	-5	16	0,00352573	0,00351429	10,1756175	5,645714286	500	0,000346488	0,00062247

Grafico de estados				
Estado	Estado	Vano Critico	Estado basico para vanos menores al critico	Estado basico para vanos mayores al critico
		m		
2	3	282,978	2	3
2	4	500,000	2	2
2	5	500,000	5	5
3	4	250,921	4	3
3	5	500,000	5	5
4	5	500,000	5	5

Estado critico:	5
Temp estado critico:	16
smax estado critico:	5,64571429

G/P de estado critico	0,00062247

7 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre conductores de fase			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	4,92707	9,762807129	356,612143
2	6,551	1,758657129	356,612143
3	8,474	5,396907129	996,193739
4	6,367	2,486307129	358,938526
5	5,646		

9.3 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre el hilo de guardia			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	11,258	11,95853681	2942,737763
2	13,67577408		
3	18,87	6,558536811	9050,974857
4	13,44	2,958536811	2964,955574
5	12,4	6,738536811	2942,737763

8- Calculo de tiros y flechas		
Estado	Tiros (Kg)	flechas (m)
1	1724,4745	8,024183599
2	2292,85	6,03506553
3	2965,9	7,797851678
4	2228,45	6,229693988
5	1976,1	7,002429027

9.2 - Calc. Flechas max de hg		
Estado	flechas(m)	
1	7,222	
2	5,432	
3	7,018	
4	5,607	
5	6,302	

9.4 - Cálculo de la tensión mecánica de comparación para el hg		
Estado	Recálculo flechas	Tiros (Kg)
1	6,598043477	716,12138
2	5,431558977	869,915989
3	6,903612638	1200,3207
4	5,547667996	854,9184
5	5,990384957	788,764

4-Cálculo de las tensiones máximas admisibles para distintas temperaturas			
t	sal	s'al	smax
ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
-20	0,81795	7,18205	9,70206754
-15	0,7011	7,2989	9,85991754
-10	0,58425	7,41575	10,0177675
-5	0,4674	7,5326	10,1756175
0	0,35055	7,64945	10,3334675
5	0,2337	7,7663	10,4913175
10	0,11685	7,88315	10,6491675
15	0	8	10,8070175
16	-0,02337	8,02337	10,8385875
20	-0,11685	8,11685	10,9648675
25	-0,2337	8,2337	11,1227175
45	-0,7011	8,7011	11,7541175

Designacion	Nombre	Temp (°C)	Viento Km/h	Viento m/s
1	Estado de max. temp.	45	0	0
2	Estado de min. temp.	-10	0	0
3	Estado de max. Viento	15	130	36,11
4	Estado de min viento	-5	30	8,33
5	Estado de temp. Media anual	16	0	0

ESTADO	t	sal	s'al	smax	smax hg
	ºC	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2	kg/mm2
1	45	-0,7011	8,7011	11,75411754	24,53772798
2	-10	0,58425	7,41575	10,01776754	20,91294851
3	15	0	8	10,80701754	23,67272387
4	-5	0,4674	7,5326	10,17561754	21,25330298
5	16	-0,02337	8,02337	5,868571429	12,25114594

5-Carga especifica para conductor principal				
Estados	Fv	gv	gc	g
1	0	0	0,00351429	0,00351429
2	0	0	0,00351429	0,00351429
3	1,647232973	0,00470638	0,00351429	0,00587369
4	0,099345389	0,000283844	0,00351429	0,00352573
5	0	0	0,00351429	0,00351429

9.1 - Carga especifica para hilo de guardia			
Fvhg	gvhg	ghg	g
0	0	0,006602735	0,00660274
0	0	0,006602735	0,00660274
0,60510599	0,009512749	0,006602735	0,01157966
0,036494225	0,000573718	0,006602735	0,00662761
0	0	0,006602735	0,00660274

6 - Determinación del estado básico									
Estados	ti	tf	gi	gf	Pi	Pf	Vano Critico	Valores G/P	
	ºC	ºC	Kg/m mm2	Kg/m mm2	Kg/m	Kg/m	m	G/Pi	G/Pf
2-3	-10	15	0,00351429	0,00587369	10,0177675	10,80701754	282,9777593	0,000350805	0,00054351
2-4	-10	-5	0,00351429	0,00352573	10,0177675	10,17561754	500	0,000350805	0,00034649
2-5	-10	16	0,00351429	0,00351429	10,0177675	5,534285714	500	0,000350805	0,000635
3-4	15	-5	0,00587369	0,00352573	10,8070175	10,17561754	250,9209353	0,000543507	0,00034649
3-5	15	16	0,00587369	0,00351429	10,8070175	5,534285714	500	0,000543507	0,000635
4-5	-5	16	0,00352573	0,00351429	10,1756175	5,534285714	500	0,000346488	0,000635

Grafico de estados				
Estado	Estado	Vano Critico	Estado basico para vanos menores al critico	Estado basico para vanos mayores al critico
		m		
2	3	282,978	2	3
2	4	500,000	2	2
2	5	500,000	5	5
3	4	250,921	4	3
3	5	500,000	5	5
4	5	500,000	5	5

Estado critico:	5
Temp estado critico:	16
smax estado critico:	5,53428571

G/P de estado critico	0,000635003

7 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre conductores de fase			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	4,986	14,53379568	485,38875
2	6,17988	6,529645681	485,38875
3	8,51838	10,16789568	1355,93037
4	6,05746	7,257295681	488,555217
5	5,534		

9.3 - Obtencion de las tensiones mecanicas sobre el hilo de guardia			
Estado	P2(kg/mm2)	A	B
1	11,15	21,06455561	4005,393067
2	12,90102926		
3	18,88	15,66455561	12319,38244
4	12,75	12,06455561	4035,633976
5	11,99	15,84455561	4005,393067

8- Calculo de tiros y flechas		
Estado	Tiros (Kg)	flechas (m)
1	1745,1	10,79271961
2	2162,958	8,707693353
3	2981,433	10,55844591
4	2120,111	8,912603538
5	1936,9	9,723979039

9.2 - Calc. Flechas max de hg		
Estado	flechas(m)	
1	9,713	
2	7,837	
3	9,503	
4	8,021	
5	8,752	

9.4 - Cálculo de la tensión mecánica de comparación para el hg		
Estado	Recálculo flechas	Tiros (Kg)
1	9,067657946	709,2515
2	7,836924018	820,634472
3	9,391606864	1200,9568
4	7,9596345	811,0275
5	8,432392502	762,6839

Proyecto Final

Estudio del vano económico

Tópico 5

1. Introducción

En el proyecto se realiza el estudio de vanos entre los 150 y 350 métros. Para cada vano se realiza el cálculo del conductor para la sección que resultó más económica. Luego se determinó el soporte de suspensión, se realizó el costo de los soportes, fundaciones, aisladores, morsetería y evidentemente de todos los vanos uno va a resultar con el costo mínimo, que es el vano económico.

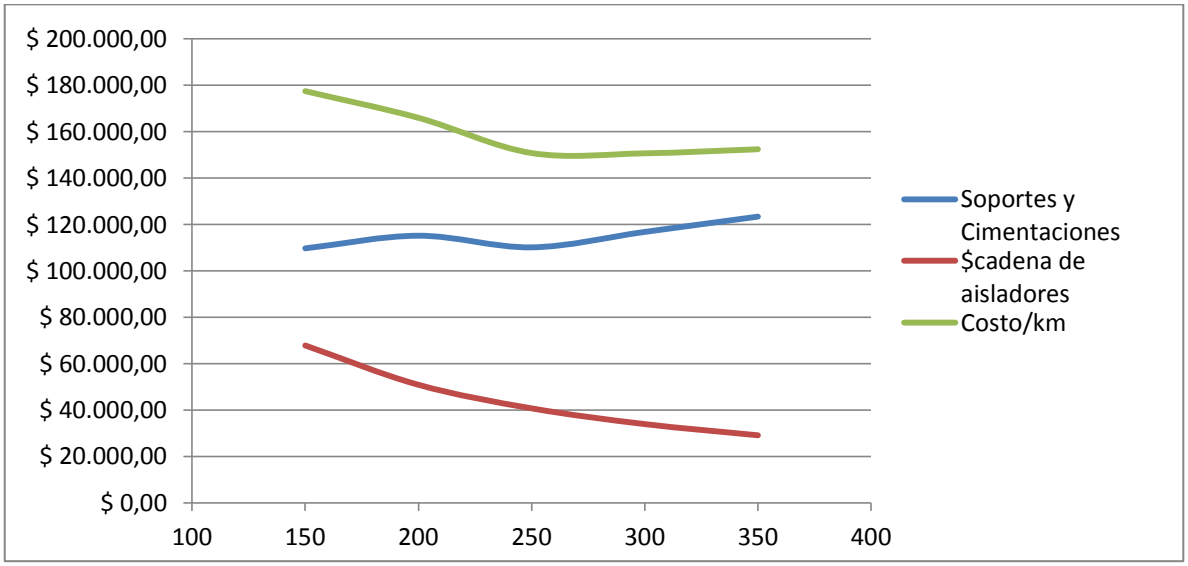
Se deberá considerar:
-Los postes a medida que aumenta el vano, disminuyen en cantidad pero aumentan en robustez y altura (la flecha aumenta con el vano al cuadrado), lo que implica mayor costo, mayor volumen de hormigón en la base.
-A medida que disminuye el vano, aumenta la cantidad de postes, evidentemente los mismos van a ser menos robustos y de baja altura, menos volumen de hormigón en las fundaciones, por otro lado aumenta la cantidad de aisladores y morsetería.
-La cantidad de aisladores depende de la tensión nominal de la línea y por lo tanto dicha cantidad disminuye con el aumento del vano y aumenta con la tensión. Por lo tanto, los aisladores y la morsetería disminuyen la cantidad al aumentar el vano.
-Se aclara que tanto las retenciones en recta que se colocan cada 3km y las retenciones angulares que se colocan donde hay obstáculos no influyen en el cálculo del vano económico al igual que los conductores.

Porcentaje de incidencia de los elementos en el costo de la línea

a) 25 % al 30 % conductores de fase
b) 3% al 5% cable de guardia
c) 35 % al 40 % soportes
d) 8 % al 11% fundaciones
e) 8 % al 10 % aisladores
f) 15% al 20 % mano de obra

2. Cálculos

Vanos	Cant/ km	Costo Unitario	$ fundaciones	Postes y cimentacion / km	Costo cadenas por poste	$Cadena/km	$/km
150	6,66666667	$ 15.495,83	$ 6.409,63	$ 109.715,16	$ 10.170,00	$ 67.800,00	$ 177.515,16
200	5	$ 21.629,20	$ 7.014,79	$ 115.160,79	$ 10.170,00	$ 50.850,00	$ 166.010,79
250	4	$ 25.674,26	$ 7.439,57	$ 110.136,61	$ 10.170,00	$ 40.680,00	$ 150.816,61
300	3,33333333	$ 32.557,75	$ 8.271,07	$ 116.796,90	$ 10.170,00	$ 33.900,00	$ 150.696,90
350	2,85714286	$ 39.887,90	$ 9.430,06	$ 123.395,49	$ 10.170,00	$ 29.057,14	$ 152.452,63



Proyecto Final

Cálculo de soportes

Tópico 6

1. Introducción

En general para el nivel de tensión elegido (132 KV) se utilizan soportes de hormigón armado, tronco-cónicos que engrosan de la cima hasta la base, aproximadamente 1,5 cm por cada metro. Cuando los niveles de tensión superan los 220 KV y zonas poco accesibles (es decir que resulta difícil el transporte del soporte hasta el lugar de montaje) se utilizan estructuras metálicas reticuladas autoportantes que se arman en el lugar.

Es necesario para el dimensionamiento del soporte tener en cuenta determinados aspectos:

1-Cálculo mecánico del conductor

2-El nivel de tensión es fundamental para el cálculo de la estructura, del mismo surgen las distancias eléctricas entre fase y a masa, también la distancia entre el conductor y el piso en el centro del vano, también permite determinar la cantidad de aisladores de las cadenas de retención y suspensión. Por ello es necesario definir adicionalmente la zona que va a atravesar la línea, zona rural, zona suburbana o zona urbana. Para cada zona la distancia entre el conductor y el piso se encuentra normalizada, en general en 132 kV se trata que la traza se delimite preferentemente en zonas rurales y suburbanas, evitando las zonas urbanas.

3-Disposición elegida

5-Tipo de estructura, puede ser de suspensión, de retención en recta, angular o terminal, dependiendo de la función que cumpla este en la línea.

6-Diseño eléctrico del cabezal de la estructura, cálculos de las distancias eléctricas.

7-Selección de la cadena de aisladores y morsetería.

8-Calculo mecánico del soporte, es decir, calculo del tiro en la cima, aplicación de las hipótesis de cálculo que correspondan, considerando algunas limitaciones: los fabricantes de postes consideran tiros máximos en la cima de 1.800 Kg y 27 metros de altura como máximo en los soportes.

2. Consideraciones adicionales

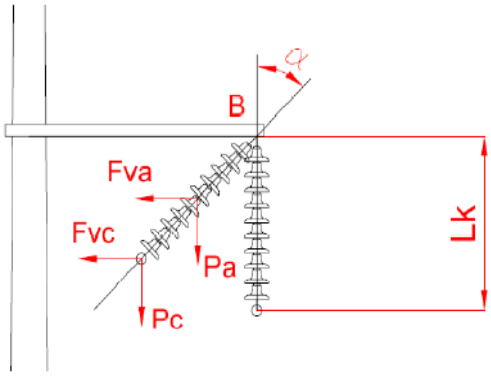
- El tipo de estructura utilizada es de Hº Aº vibrado, el poste es troncónico, que engrosa desde la cima hacia la base 1,5 cm por cada 1 metro.

3. Soporte de suspensión

Se conoce a la estructura de suspensión simple a aquella cuya misión es la de sostener los cables y normalmente no soportan cargas de tracción en sentido longitudinal de la línea.

3.1) Cálculo de la ménsula

Cálculo del ángulo α:



$$F_{vc} = \alpha \cdot k \cdot \frac{V^2}{16} \cdot a \cdot d_c = 0{,}75 \cdot 1{,}1 \cdot \frac{\left(36{,}11\,\frac{m}{seg}\right)^2}{16} \cdot 250m \cdot 0{,}0245m = 411{,}81\ Kg$$

$$F_{va} = 1{,}3675\,\frac{Kg}{aisl} \cdot 9aisl = 12{,}307\ Kg$$

$$P_c = \frac{P}{Km} \cdot a = 1230\,\frac{Kg}{Km} \cdot 0{,}25Km = 307\ Kg$$

$$P_a = 4{,}5\ \frac{Kg}{aisl} \cdot 9aisl + 15Kg_{morseteria} = 55{,}5Kg$$

$$\varphi = arctg\left(\frac{F_{vc} + \frac{F_a}{2}}{Pc + \frac{P_a}{2}}\right) = arctg\left(\frac{411{,}81 + \frac{12{,}308}{2}}{307{,}5 + \frac{55{,}5}{2}}\right) = 51{,}27°$$

Cuando la cadena esta en reposo:

$$l_m = l_k \cdot \sin\varphi + d_m + \frac{d_p}{2} = 1{,}8m \cdot \sin 51{,}27° + 0{,}98 + \frac{0{,}4m}{2} = 2{,}58m \cong 2{,}6m$$

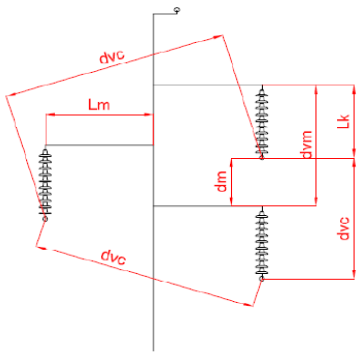
$$l_m = longitud\ de\ la\ mensula$$

$$l_k = longitud\ de\ la\ cadena\ de\ aisladores\ más\ la\ morseteria$$

$$d_m = \frac{U_n}{150} + 0{,}1 = \frac{132Kv}{150} + 0{,}1 = 0.98m$$

$$d_p = diametro\ del\ soporte\ en\ m(a\ la\ altura\ del\ conductor\ inferior)$$

3.2)Distancia entre las fases:



$$d_{vc} = k \cdot \sqrt{F_{max} + l_k} + \frac{U_n}{150} = 1{,}1 \cdot \sqrt{5{,}717m + 1{,}8m} + 0{,}88 = 3{,}21m$$

k = factor que depende de la disposición de los conductores según la estructura y el ángulo de inclinación de los mismos = 0,85

$$d_{vm} = l_k + d_m^{'} + e_m = 1{,}8m + 0{,}98m + 0{,}15m = 2{,}93m$$

$$d_{vm} = distancia\ minima\ entre\ mensulas$$

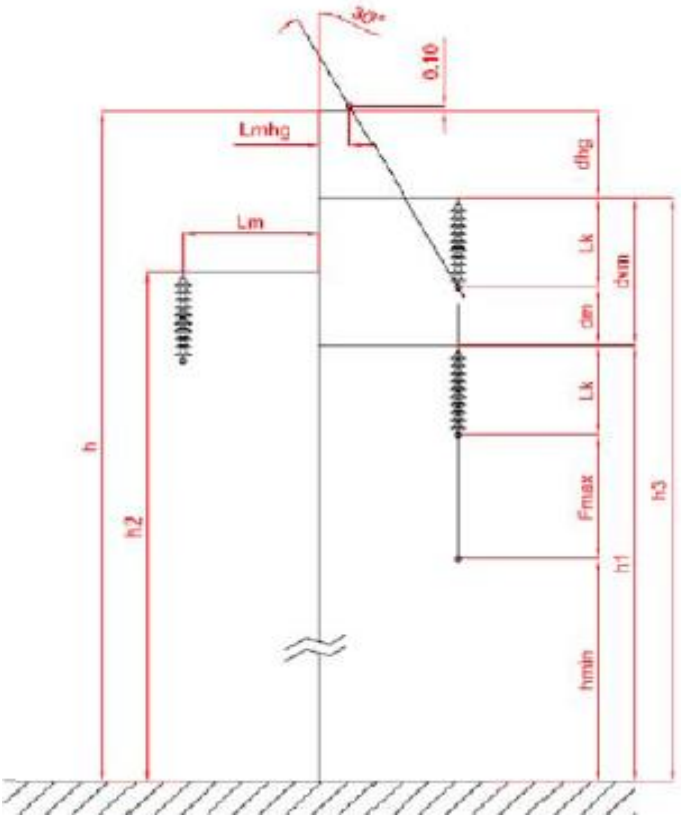
$$e_m = espesor\ de\ la\ mensula$$

$$d_m^{'} = \frac{U_n}{150} + 0{,}1 = 0{,}98m$$

Calculada d_{vm} se debe comparar con dvc (calculada anteriormente) Pues se debe verificar que adoptando d_{vc} el valor de la $d_m > \frac{U_n}{150} + 0.1$, si no lo verifica, corremos riesgo de que la fase superior descargue sobre la fase inferior.

3,2 m - 1,8 m > 0,1 + 132 Kv/150
1,4 > 0,98 **verifica**

3.3)Determinación de las alturas

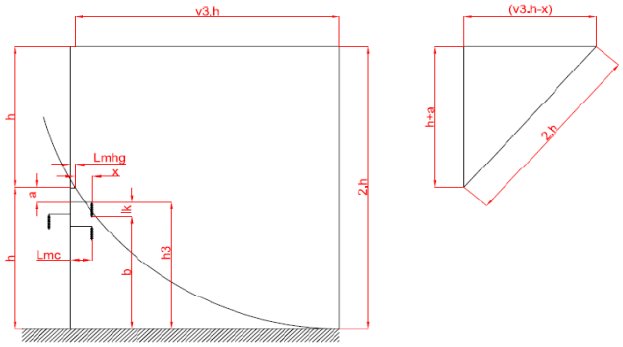


$$h_1 = h_{min} + F_{max} + L_K = 7m + 5{,}717m + 1{,}8m = 14{,}517m \cong 14{,}5m$$

$$h_2 = h_1 + \frac{d_{vm}}{2} = 14{,}5m + \frac{3m}{2} = 16m$$

$$h_3 = h_1 + d_{vm} = 14{,}5m + 2{,}93 = 17{,}5m$$

3.4) Distancia hilo de guarda – Método de Langher



Resolviendo el triángulo superior

$$(2h)^2 = (h+a)^2 + (\tan(30)3h - x)^2$$

$$h = \frac{1}{3}\left[2(h_3 - l_k) + \sqrt{3}(l_m - l_{mhg}) + \sqrt{(h_3 - l_k)^2 + 4\sqrt{3}(h_3 - l_k)(l_m - l_{mhg})}\right]$$

$$h = \frac{1}{3}\left[2(17{,}5 - 1{,}8) + \sqrt{3}(2{,}6 - 0{,}5) + \sqrt{(17{,}5 - 1{,}8)^2 + 4\sqrt{3}(17{,}5 - 1{,}8)(2{,}6 - 0{,}5)}\right]$$

$$h = \frac{1}{3}[31{,}3 + 3{,}00 + 20{,}81]$$

$$h = 18{,}36m$$

$$l_{mhg} = longitud\ de\ la\ mensula\ del\ cable\ de\ guardia = 0{,}5$$

Se fija por norma que el empotramiento del soporte debe ser como mínimo 1/10 de la altura total del poste (H).

$$H = h + 0{,}1H = \frac{h}{0{,}9} = \frac{18{,}36m}{0{,}9} = 20{,}41m \cong 20{,}5m$$

Entonces la altura libre es:

$$h = 18{,}5m$$

3.5) Calculo del tiro en la cima del soporte

Para el cálculo del tiro en la cima, se debe considerar la función que cumple el poste en la línea.

Si se observa una línea vemos un soporte simple y que la cadena de aisladores cuelga verticalmente, que el conductor está suspendido de la misma, este se trata de un soporte de suspensión.

De observarse un poste doble, alineado en la dirección de la línea y sus cadenas de aisladores en posición horizontal se trata de una estructura de retención en recta, si en cambio se observan los postes perpendiculares a la línea, se está en presencia de un soporte de retención angular, los postes se hubican en dirección de la bisectriz del ángulo de desviación.

Puede ocurrir la necesidad de utilizar tres postes, en el caso de líneas de gran sección o de zonas de condición climática desfavorable, por lo general para esfuerzos mayores a 1800 o 2000 kg en la cima considerando dos postes.

Definidas todas las alternativas en función de los soportes de la línea, se procede a plantear las hipótesis de cálculo, según el tipo de estructura (S, R, RA, T, que se consideran más desfavorables, que surgen de la norma VDE0210/5.69 y la E.T. IEGC N°1 de A y EE y sus anexos.

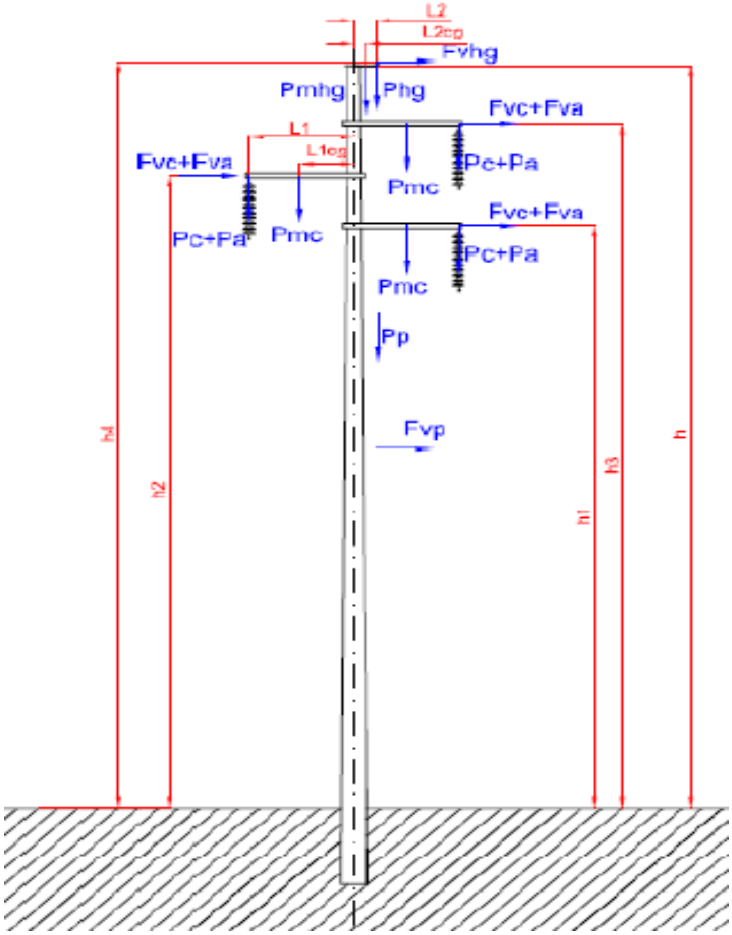
Se define el tiro en la cima de una estructura a la suma de todos los esfuerzos externos que actúan sobre la estructura, los conductores y elementos de cabecera, etc. Todos referidos a la cima.

Hipótesis normal:

De acuerdo con VDE 0210-5/69 y la E.T. de A y EE, la más desfavorable es:

Hipótesis 1-A, carga del viento máximo sobre la estructura, los elementos de cabecera y el hilo de guardia, actuando en ambos vanos adyacentes a la estructura simultáneamente cargas verticales, es decir, el peso de la estructura así como de los cables, ménsulas y aisladores.

A continuación se muestra el esquema de cargas resultante:



$$F_{vc} = 411{,}81\ Kg$$

$$F_{va} = 12{,}307\ Kg$$

$$P_c = 307\ Kg$$

$$P_a = 55{,}5\ Kg$$

Fuerza equivalente en la cima del viento en conductores y aisladores:

$$F_{cya} \cdot h = (F_{vc} + F_{va}) \cdot h_1 + (F_{vc} + F_{va}) \cdot h_2 + (F_{vc} + F_{va}) \cdot h_3$$

$$F_{cya} \cdot h = (F_{vc} + F_{va}) \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$$

$$F_{cya} = (F_{vc} + F_{va}) \cdot \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{h} = (411{,}81 + 12{,}307) \cdot \frac{(14{,}52 + 15{,}982 + 17{,}447)}{18{,}5}$$

$$F_{cya} = 1107\ Kg$$

De la tabla del fabricante del poste se saca el diámetro en la cima del poste, en este caso para un poste de 22 m es de 305 mm y se calcula la fuerza del viento mediante:

$$F_{vp} = \alpha \cdot k \cdot \frac{V^2}{16} \cdot \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot d_0 + d_e) \cdot h$$

$$F_{vp} = 1{,}1 \cdot 0{,}75 \cdot \frac{\left(36{,}11 \frac{m}{seg}\right)^2}{16} \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 0{,}305m + 0{,}58m) \cdot 18{,}5$$

$$F_{vp} = 264{,}69\ Kg$$

Fuerza del viento en el hilo de guardia:

$$F_{vhg} = \alpha \cdot k \cdot \frac{V^2}{16} \cdot a \cdot d_c = 1{,}1 \cdot 0{,}75 \cdot \frac{\left(36{,}11 \frac{m}{seg}\right)^2}{16} \cdot 250m \cdot 0{,}0045m = 75.64\ Kg$$

Fuerza provocada por el desequilibrio vertical:

Dv es la fuerza en la cima del soporte, que accionando horizontalmente, provoque en la base del mismo un momento flector igual que la carga desequilibrada.

$$D_v = \frac{(P_c + P_a) \cdot l_m + P_{cg} l_{mhg} + P_{mc} l_{cg1} + P_{mcg} l_{cg2}}{h} =$$

$$\frac{(307{,}5Kg + 55{,}5Kg) \cdot 2{,}6 + 3{,}96Kg \cdot 0{,}5m + 300Kg \cdot 1{,}3m + 40Kg \cdot 0{,}25m}{18{,}5} = 75{,}05\ Kg$$

Tiro en la cima:

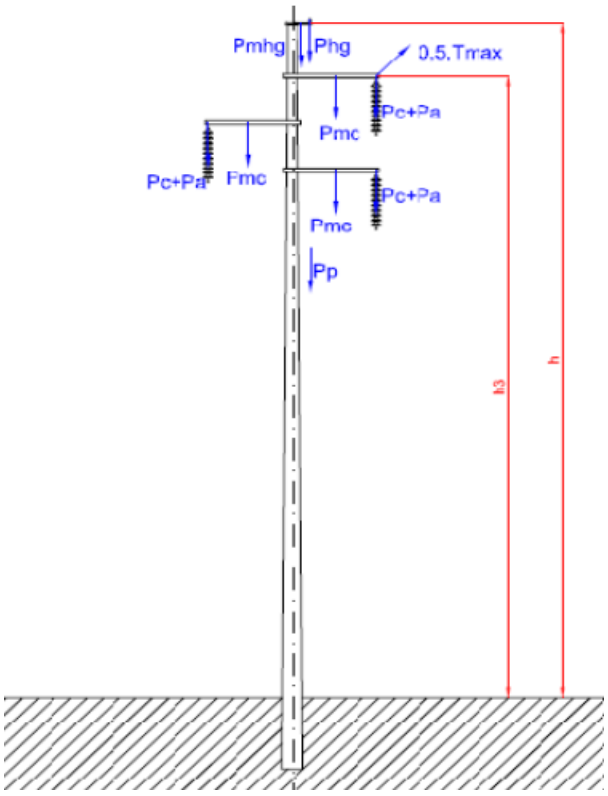
$$\boldsymbol{T_c = F_{cya} + F_{vp} + F_{vhg} + D_v = 1107 + 264{,}69 + 75{,}64 + 75{,}05 = 1504{,}41\ Kg}$$

El coeficiente de seguridad para esta hipótesis es 3.

Hipótesis Emergencia:

Se aplicará la hipótesis 2.a, que define: la mitad del tiro máximo de un cable, por anulación de la tracción del mismo, en el vano adyacente, se tomara aquel que produzca la solicitación más desfavorable (el conductor superior).

Ninguna carga del viento y simultáneamente cargas verticales.



$$P \cdot S = T_{max} = 8{,}351 \frac{Kg}{mm^2} \cdot 240\ mm^2 = 2922{,}85\ Kg$$

P = es la máxima tensión mecánica que surge del cálculo mecánico realizado anteriormente.

S = Sección del Conductor.

La Fuerza en la cima, vale:

$$F = \frac{M}{h}$$

Donde M es el momento que surge de:

$$M = \frac{1}{2}\left(M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2}\right)$$

El momento flector debido a la mitad de la tracción vale:

$$M_{f1} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot S \cdot h_3 = \frac{1}{2} \cdot 8{,}351 \frac{Kg}{mm^2} \cdot 350mm^2 \cdot 17{,}447m = 25636{,}5\ Kg.m$$

El momento flector debido al desequilibrio vertical se calcula de la siguiente manera:

$$M_{f2} = P_c l_1 + P_{cg} l_2 + P_{mc} l_{cg1} + P_{mhg} l_{cg2}$$

Como su valor es despreciable frente al valor del momento flector debido a la mitad de la tracción, se estima entonces:

$$M_f = M_{f1} + M_{f2} \approx M_{f1} = 25636{,}5\ \text{Kg.m}$$

El momento torsor vale:

$$M_t = \tfrac{1}{2} \cdot P \cdot S \cdot l_1 = \tfrac{1}{2} \cdot 8{,}351 \tfrac{Kg}{mm^2} \cdot 350mm^2 \cdot 2{,}6m = 3776{,}5\ Kgm$$

Con lo cual:

$$M = \frac{1}{2}\left(M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2}\right) = 25636{,}56 \approx 25636{,}6\ Kgm$$

Esfuerzo de rotura:

$$\boldsymbol{F = \frac{M}{h} = \frac{21215{,}6\ Kgm}{18{,}5} = 1389{,}5Kg}$$

Se selecciona entonces en base a la Hipótesis Normal:

1x20,5/1600/3-0.305

4. Soporte de retención en recta

4.1)Cálculo de la ménsula

Cálculo del ángulo α:

$$F_{vcm} = \alpha \cdot k \cdot \frac{V^2}{16} \cdot lcm \cdot d_c = 0{,}75 \cdot 1{,}1 \cdot \frac{\left(36{,}11\,\frac{m}{seg}\right)^2}{16} \cdot 5\ m \cdot 0{,}0245\ m = 8{,}23\ Kg$$

$$P_{cm} = \frac{P}{Km} \cdot lcm = 1230\,\frac{Kg}{Km} \cdot 0{,}005\ Km = 6{,}15\ Kg$$

$$\varphi = arctg\left(\frac{F_{vcm}}{Pcm}\right) = arctg\left(\frac{8{,}23\ Kg}{6{,}15}\right) = 33{,}81°$$

Cuando el cuello muerto esta en reposo:

$$l_m = d_{cm} \cdot \sin\varphi + d_m + \frac{d_p}{2} + d_{pp} = 1{,}5m \cdot \sin 33{,}81° + 0{,}98 + \frac{0{,}4m}{2} + 0{,}30 = 2{,}47m \cong 2{,}5m$$

$$l_m = longitud\ de\ la\ mensula$$

$$d_{cm} = distancia\ entre\ cuello\ muerto\ y\ ménsula$$

$$d_m = \frac{U_n}{150} + 0{,}1 = \frac{132Kv}{150} + 0{,}1 = 0.98m$$

$$d_p = diametro\ del\ soporte\ en\ m(a\ la\ altura\ del\ conductor\ inferior)$$

$$d_{pp} = distancia\ entre\ postes$$

4.2)Distancia entre las fases:

$$d_{vc} = k \cdot \sqrt{F_{max} + d_{cm}} + \frac{U_n}{150} = 0{,}85 \cdot \sqrt{5{,}717m + 1{,}5m} + 0{,}88 = 3{,}21m$$

k = factor que depende de la disposición de los conductores según la estructura y el ángulo de inclinación de los mismos = 0,85

$$d_{vm} = l_k + d_m^{'} + e_m = 1{,}8m + 0{,}98m + 0{,}15m = 2{,}93m$$

$$d_{vm} = distancia\ minima\ entre\ mensulas$$

$$e_m = espesor\ de\ la\ mensula$$

$$d_m^{'} = \frac{U_n}{150} + 0{,}1 = 0{,}98m$$

Calculada d_{vm} se debe comparar con dvc (calculada anteriormente) Pues se debe verificar que adoptando d_{vc} el valor de la $d_m > \frac{U_n}{150} + 0.1$, si no lo verifica, corremos riesgo de que la fase superior descargue sobre la fase inferior.

3,2 m - 1,8 m > 0,1 + 132 Kv/150

1,4 > 0,98 **verifica**

4.3) Determinación de las alturas

$$h_1 = h_{min} + F_{max} = 7m + 5{,}717m = 12{,}717m \cong 12{,}7m$$

$$h_2 = h_1 + \frac{d_{vm}}{2} = 12{,}7m + \frac{3m}{2} = 14{,}2m$$

$$h_3 = h_1 + d_{vm} = 12{,}7m + 2{,}93 = 15{,}63m$$

4.4) Distancia hilo de guarda – Método de Langher

Resolviendo el triángulo superior

$$(2h)^2 = (h + a)^2 + (\tan(30)3h - x)^2$$

$$h = \frac{1}{3}\left[2(h_3 - d_{cm}) + \sqrt{3}(l_m - l_{mhg}) + \sqrt{(h_3 - d_{cm})^2 + 4\sqrt{3}(h_3 - d_{cm})(l_m - l_{mhg})}\right]$$

$$h = \frac{1}{3}\left[2(15{,}63 - 1{,}5) + \sqrt{3}(2{,}6 - 0{,}5) + \sqrt{(15{,}63 - 1{,}5)^2 + 4\sqrt{3}(15{,}63 - 1{,}5)(2{,}6 - 0{,}5)}\right]$$

$$h = \frac{1}{3}[30{,}7 + 2{,}84 + 20{,}25]$$

$$h = 16{,}4m$$

$$l_{mhg} = longitud\ de\ la\ mensula\ del\ cable\ de\ guardia = 0{,}5$$

Se fija por norma que el empotramiento del soporte debe ser como mínimo 1/10 de la altura total del poste (H).

$$H = h + 0{,}1H = \frac{h}{0{,}9} = \frac{16{,}4m}{0{,}9} = 18{,}22m \cong 18{,}5$$

Entonces la altura libre es:

$$h = 16{,}65m$$

4.5) Cálculo del tiro en la cima del soporte

Hipótesis normal:

De acuerdo con VDE 0210-5/69 y la E.T. de A y EE, la más desfavorable es:

Hipótesis g, dos tercios de las tracciones máximas unilaterales de los cables (conductores de fases e hilo de guarda) y simultáneamente carga del viento, sobre la estructura y los elementos de cabecera en dirección de los travesaños, simultáneamente cargas verticales.

Fuerza equivalente en la cima del viento en conductores y aisladores:

$$F_{cya} \cdot h = (F_{vcm} + F_{va}) \cdot h_1 + (F_{vcm} + F_{va}) \cdot h_2 + (F_{vcm} + F_{va}) \cdot h_3$$

$$F_{cya} \cdot h = (F_{vcm} + F_{va}) \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$$

$$F_{cya} = (F_{va} + F_{vcn}) \cdot \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{h} = (36{,}92\ Kg + 8{,}23\ Kg) \cdot \frac{(12{,}7 + 14{,}2 + 15{,}63)}{16{,}65}$$

$$F_{cya} = 115{,}4\ Kg$$

De la tabla del fabricante del poste se saca el diámetro en la cima del poste, en este caso para un poste de 22 m es de 305 mm y se calcula la fuerza del viento mediante:

$$F_{vp} = \alpha \cdot k \cdot \frac{V^2}{16} \cdot \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot d_0 + d_e) \cdot h$$

$$F_{vp} = 1{,}1 \cdot 0{,}75 \cdot \frac{\left(36{,}11 \frac{m}{seg}\right)^2}{16} \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 0{,}31m + 0{,}58m) \cdot 16{,}65$$

$$F_{vp} = 223{,}9\ Kg$$

Fuerza provocada por el desequilibrio vertical:

Dv es la fuerza en la cima del soporte, que accionando horizontalmente, provoque en la base del mismo un momento flector igual que la carga desequilibrada.

$$D_v = \frac{(P_c + P_a) \cdot l_m + P_{cg} l_{mhg} + P_{mc} l_{cg1} + P_{mcg} l_{cg2}}{h} =$$

$$\frac{(307{,}5Kg + 220Kg) \cdot 2{,}5 + 3{,}96Kg \cdot 0{,}5m + 300Kg \cdot 1{,}25m + 40Kg \cdot 0{,}25m}{16{,}65} = 104{,}38\ Kg$$

Fuerza en el eje y:

$$F_{yy} = F_{cya} + 2\ F_{vp} + D_v = 847{,}01\ Kg$$

Fuerza en el eje x:

$$F_{xx} = \frac{2}{3}\left(T_{maxHg} + RTM\ .T_{max}\right) = 5772{,}63\ Kg$$

Donde RTM: coeficiente de reducción del tiro en la cima.

$$RTM = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{h} = 2{,}55$$

Tiro en la cima:

$$T_c = \frac{F_{xx}}{8} + \frac{F_{yy}}{2} = \frac{5772{,}63}{8} + \frac{847{,}01}{2} = 1145{,}09\ Kg$$

El coeficiente de seguridad para esta hipótesis es 3.

Hipótesis Emergencia:

Se utilizará la hipótesis 2-a, definida en el soporte de suspensión

El momento flector debido a la mitad de la tracción vale:

$$M_{f1} = \frac{1}{2}.P \cdot S \cdot h_3 = \frac{1}{2} \cdot 8{,}351 \frac{Kg}{mm^2} \cdot 350mm^2 \cdot 12{,}717m = 22866{,}92\ Kg.m$$

El momento flector debido al desequilibrio vertical se calcula de la siguiente manera:

$$M_{f2} = P_c l_1 + P_{cg} l_2 + P_{mc} l_{cg1} + P_{mhg} l_{cg2}$$

Como su valor es despreciable frente al valor del momento flector debido a la mitad de la tracción, se estima entonces:

$$M_f = M_{f1} + M_{f2} \approx M_{f1} = 22866{,}92 \text{ Kg. m}$$

El momento torsor vale:

$$M_t = \frac{1}{2} \cdot P \cdot S \cdot l_1 = \frac{1}{2} \cdot 8{,}351 \frac{Kg}{mm^2} \cdot 350 mm^2 \cdot 2{,}5m = 3609{,}72\ Kgm$$

Con lo cual:

$$M = \frac{1}{2}\left(M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2}\right) = 23008{,}5\ Kgm$$

Esfuerzo de rotura:

$$F = \frac{M}{h} = \frac{23008{,}5\ Kgm}{16{,}65} = 1381{,}89 Kg$$

El coeficiente de seguridad de esta hipótesis es 2,5.

Se selecciona entonces en base a la Hipótesis de emergencia dos postes vinculados de tal manera que sea soportado el tiro en la cima.

2x18,5/1400/2,5-0.35

5. Soporte de retención angular pequeño desvío (15°)

Una estructura de retención angular, es un soporte que se utiliza para retener a los conductores en los vertices de los ángulos de la línea y a su vez proporcionan puntos fijos que limitan la propagación en la misma de esfuerzos longitudinales de carácter excepcional.

Se utilizarán las mismas ménsulas y la misma altura de postes que en el soporte de retención en recta, dado que verifican las distancias eléctricas.

5.1) Cálculo del tiro en la cima del soporte

Se evaluarán dos hipótesis (1-a y 1-b para soportes retención angular) y se elegirá en función de la más desfavorable.

Hipótesis normal:

Carga del viento máximo sobre las estructuras, los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes en dirección de la resultante total de las tracciones del conductor. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores, simultáneamente cargas verticales.

Tiro en la cima:

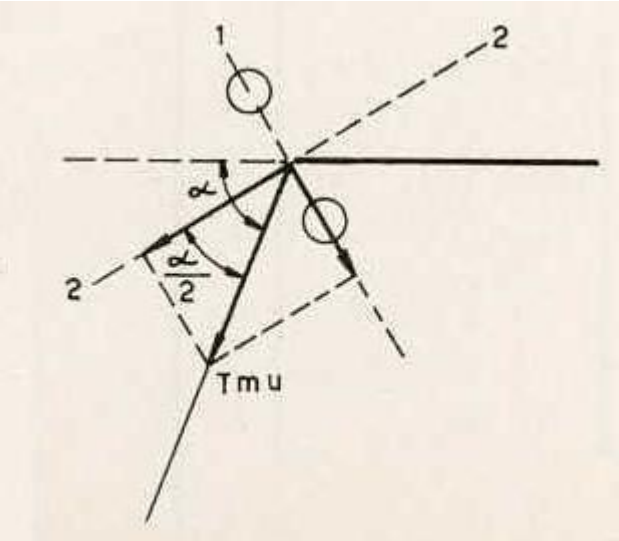
$$T_c = \frac{[(F_{vc} + F_{va}) + T_{max15}].RTM + F_{vhg} + T_{max15hg} + 2 * F_{vp} + Dv}{8}$$

$$T_{max15} = 2.T_{max}.\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2\,.2922{,}85\ Kg.\text{sen}\left(\frac{15}{2}\right) = 763{,}02\ Kg$$

$$T_{max15hg} = 2.T_{maxhg}.\text{sen}\left(\frac{15}{2}\right) = 310{,}7\ Kg$$

$$T_c = 492{,}78\ Kg$$

La otra hipótesis, sugiere, carga del viento en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera. Dos tercios de las tracciones unilaterales, de los conductores considerados actuando en el eje de la estructura simultáneamente cargas verticales.



En esta hipótesis, se pide el cálculo del tiro máximo unilateral del conductor y se supone un poste angular en que se rompe un conductor, entonces se tienen dos direcciones la 1-1 y otra 2-2. Se tiene en este caso, esfuerzos actuando simultáneamente en dos direcciones, que se refieren a la cima, según lo expuesto anteriormente, más los esfuerzos del viento.

$$T_{11} = T_{mu}.\operatorname{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 381{,}51\ Kg$$

$$T_{22} = T_{mu}.\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2897{,}84\ \ Kg$$

$$T_{11hg} = T_{muhg}.\operatorname{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 155{,}35\ Kg$$

$$T_{22hg} = T_{muhg}.\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1179{,}96\ Kg$$

Donde

$$T_{mu} = T_{max}$$

El tiro en la cima se calcula de la siguiente manera:

$$T_c = \frac{F_{11}}{2} + \frac{F_{22}}{8}$$

$$F_{11} = \left(\frac{2}{3}\ T_{11} + F_{cya}\right).RTM + D_v + 1{,}5\ F_{vp} + T_{11hg}.\frac{2}{3} = 1241{,}7\ Kg$$

$$F_{22} = \frac{2}{3}\, T_{22}.RTM + \frac{2}{3}.T_{22hg} = 5723{,}24\ Kg$$

$$T_c = \frac{F_{11}}{2} + \frac{F_{22}}{8} = 1336{,}26\ Kg$$

El coeficiente de seguridad para esta hipótesis es 3.

Hipótesis Emergencia:

Se utilizará la misma hipótesis (hip 2-a), utiizada anteriormente, como las alturas y ménsulas son iguales se toman los mismos valores, siendo la fuerza en la cima:

$$F = \frac{M}{h} = \frac{23008{,}5\ Kgm}{16{,}65} = 1381{,}89 Kg$$

Se selecciona entonces en base a la Hipótesis de emergencia dos postes vinculados de tal manera que sea soportado el tiro en la cima.

2x18,5/1400/2,5-0.35

6. Soporte de retención angular gran desvío (45°)

Se utilizarán las mismas ménsulas y la misma altura de postes que en el soporte de retención en recta, dado que verifican las distancias eléctricas, de obtener tiros muy grandes, se pasará a una estructura triple.

6.1) Cálculo del tiro en la cima del soporte

Hay varias hipótesis para el cálculo, se estudiarán todas y se elegirá en función de la más desfavorable.

Hipótesis normal:

Carga del viento máximo sobre las estructuras, los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes en dirección de la resultante total de las tracciones del conductor. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores, simultáneamente cargas verticales.

Tiro en la cima:

$$T_c = \frac{[(F_{vc} + F_{va}) + T_{max15}].RTM + F_{vhg} + T_{max45hg} + 2 * F_{vp} + Dv}{8}$$

$$T_{max45} = 2.T_{max}.\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2\ .2922{,}85\ Kg.\text{sen}\left(\frac{45}{2}\right) = 2237{,}05\ Kg$$

$$T_{max45hg} = 2.T_{maxhg}.\text{sen}\left(\frac{45}{2}\right) = 910{,}9\ Kg$$

$$T_c = 1048{,}2\ Kg$$

La otra hipótesis, sugiere, carga del viento en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera. Dos tercios de las tracciones unilaterales, de los conductores considerados actuando en el eje de la estructura simultáneamente cargas verticales.

$$T_{11} = T_{mu}.\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1118{,}52\ Kg$$

$$T_{22} = T_{mu}.\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2700{,}36\ \ Kg$$

$$T_{11hg} = T_{muhg}.\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 455{,}45\ Kg$$

$$T_{22hg} = T_{muhg}.\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1099{,}55\ Kg$$

Donde

$$T_{mu} = T_{max}$$

El tiro en la cima se calcula de la siguiente manera:

$$T_c = \frac{F_{11}}{2} + \frac{F_{22}}{8}$$

$$F_{11} = \left(\frac{2}{3}\ T_{11} + F_{cya}\right).RTM + D_v + 1{,}5\ F_{vp} + T_{11hg}.\frac{2}{3} = 2741{,}79\ Kg$$

$$F_{22} = \frac{2}{3}\ T_{22}.RTM + \frac{2}{3}.T_{22hg} = 5333{,}22\ Kg$$

$$T_c = \frac{F_{11}}{2} + \frac{F_{22}}{8} = 2037{,}55\ Kg$$

El coeficiente de seguridad para esta hipótesis es 3.

Hipótesis Emergencia:

Se utilizará la misma hipótesis (hip 2-a), utiizada anteriormente, como las alturas y ménsulas son iguales se toman los mismos valores, siendo la fuerza en la cima:

$$F = \frac{M}{h} = \frac{23008{,}5\ Kgm}{16{,}65} = 1381{,}89Kg$$

Como la segunda alternativa de la hipótesis normal es la más desfavorable, se tendrá en cuenta esta, no obstante, al tratarse de un valor grande, se procede a elegir una estructura triple, donde el tiro en la cima es:

$$T_c = \frac{1}{9}.\sqrt{F_{11}^2 + F_{22}^2} = 666{,}30$$

El coeficiente de seguridad para esta hipótesis es 3.

Se selecciona entonces de acuerdo al tiro anterior la siguiente estructura

3x18,5/700/3-0.27

7. Soporte terminal

Se utilizarán las mismas ménsulas y la misma altura de postes que en el soporte de retención en recta, dado que verifican las distancias eléctricas, de obtener tiros muy grandes, se pasará a una estructura triple.

Cálculo del tiro en la cima del soporte

Hipótesis normal:

Totalidad de las tracciones máximas unilaterales de todos los conductores y del hilo de guardia, simultáneamente la carga del viento máximo, perpendicular a la dirección de la línea, actuando sobre la estructura y los elementos de cabecera. Además las cargas verticales.

Fuerza en el eje y:

$$F_{yy} = F_{cya} + 2\,F_{vp} + D_v = 691{,}53\ Kg$$

Fuerza en el eje x:

$$F_{xx} = \left(T_{maxHg} + RTM\ .T_{max}\right) = 8659\ Kg$$

Tiro en la cima:

$$T_c = \frac{F_{xx}}{8} + \frac{F_{yy}}{2} = \frac{8659}{8} + \frac{691{,}53}{2} = 1428{,}13Kg$$

El coeficiente de seguridad para esta hipótesis es 3.

Hipótesis Emergencia:

Se utilizará la misma hipótesis (hip 2-a), utiizada anteriormente, como las alturas y ménsulas son iguales se toman los mismos valores, siendo la fuerza en la cima:

$$F = \frac{M}{h} = \frac{23008{,}5\ Kgm}{16{,}65} = 1428{,}13Kg$$

El tiro más desfavorable es el obtenido por hipótesis normal, por lo tanto se elige el siguiente poste:

2x18,5/1500/3-0.350

Datos del proyecto	Detalle	Comentarios
Conductor	300/50 mm^2	Cálculo de la sección tecnico económica
Cable de guardia	Acero galvanizado 50 mm2	
Estado Climático del país	C	De norma AEA 95301
Vanos	250 mts	Cálculo del vano económico
Estado Básico	Temperatura media anual	Cálculo mecánico del conductor
Tensiones Máximas admisibles (Kg/mm2)	Según Normas Ay E y anexos	
Secciones ,Diámetros y formaciones	Ídem y norma IRAM 2187 y 722	
Soporte	Hormigón Armado Vibrado	
Disposición del cabezal estructura	Triangular asimétrico	
Cable de Guardia	Acero galvanizado 50 mm2	
Altura libre conductor Inferior	7 m (RURAL)	AEA 95301
Longitud de la cadena	1,8 m	
Angulo de protección cable de guardia	30 grados	
Hipótesis de cálculo (normal y extraordinaria)	Según Anexo A Y EE	
Coeficiente de seguridad	3 normal y 2,5 extraordinaria	AyEE
alpha	0,75	
k	1,1	
v	36,11 km/h	
a	250 m	
dc	0,0245 m	
Peso aislador	1,4 kg	
Flecha máx vert	5,717 m	
Longitud mensula Hg	0,5 m	
Diamentro exterior aprox del cable de hg	0,009 m	Dato del fabricante
Seccion total del hilo de guardia	49,49 mm2	
Peso por kilometro del hilo de guardia	396 Kg/Km	
Peso ménsula	300 kg	
Peso mensula Hg	40 kg	

Cálculo de Ménsula			
Viento sobre conductores	Fvc	411,81 Kg	
Viento sobre aisladores	Fva	12,31 Kg	
Peso Cond	Pc	307,5 Kg	
Peso Aisladores	Pa	55,5 Kg	
Ang. Inclinación	a	51,27°	0,89
Long. Mensula	Lm	2,58 m	
Dist.e conductores	dvc	3,2m	
Dist.min e ménsulas	dvm	2,93 m	Verifica

Determinación de las Alturas	
h1	14,517
h2	15,982
h3	17,447

Método de Langher	
h=	1/3(A+B+C)
A	31,294 m
B	3,00582107769953 m
C	20,8076173218141 m
h	18,3691461331712 m
H	20,4101623701902 m
H (total)	20,5 m
h (libre)	18,45 m

Cálculo del Tiro en la Cima					
Hipótesis Normal			Hipótesis de emergencia		
Fcya	1107,00047	kg	MF1	25497,482	kgm
Fvp	246,692748	kg	Mt	3776,49747	kgm
Fvhg	75,6382488	kg			
			M	25636,56	kgm
Dv	75,0760718	kg			
Tc	**1504,40754**	**kg**	**F**	**1389,51545**	**kg**
Er1	4513,22262	kg	Er2	3473,78862	kg

El poste necesario para un Vano de 250 m es 20,5 / 1600 / 3 - 305

Cálculo de Ménsula			
Viento sobre conductores	Fvc	411,8 kg	
Viento sobre cuello muerto/aisladores	Fva	8,24 kg	13,675 kg
Peso CM	Pc	6,15 kg	
Peso Aisladores	Pa	55,5 kg	
Ang. Inclinación	a	53,25°	1,49
Long. Mensula	Lm	2,47 m	
Dist.e conductores	dvc	3,2 m	
Dist.min e ménsulas	dvm	2,93 m	Verifica

Determinación de las Alturas	
h1	12,717 m
h2	14,182 m
h3	15,647 m

Método de Langher	
h=	1/3(A+B+C)
A	27,694 m
B	2,84123165350559 m
C	18,6844734425235 m
h	16,406568365343 m
H	18,2295204059367 m
H (total)	18,5 m
h (libre)	16,65 m

Cálculo del Tiro en la Cima					
Hipótesis Normal			Hipótesis de Emergencia		
Fcya	115,390795	kg	MF1	22866,917	kgm
Fvp	223,889216	kg	Mt	3609,71975	kgm
Fvhg	75,6382488	kg	M	23008,4959	kgm
FXX	5772,63098	kg			
Fyy	847,014575	kg			
Dv	104,376276	kg			
Tc	1145,08616	kg	F	1381,89165	kg
Er1	3435,25848	kg	Er2	3454,72912	kg

2 x 18,5 / 1400 / 2,5 - 305

Cálculo de Ménsula			
Viento sobre conductores	Fvc	411,8 kg	
Viento sobre cuello muerto/aisladores	Fva	8,24 kg	13,675 kg
Peso CM	Pc	6,15 kg	
Peso Aisladores	Pa	55,5 kg	
Ang. Inclinación	a	53,25°	1,49
Long. Mensula	Lm	2,47 m	
Dist.e conductores	dvc	3,2 m	
Dist.min e ménsulas	dvm	2,93 m	Verifica

Determinación de las Alturas	
h1	12,717 m
h2	14,182 m
h3	15,647 m

Método de Langher	
h=	1/3(A+B+C)
A	27,694 m
B	2,84123165350559 m
C	18,6844734425235 m
h	16,406568365343 m
H	18,2295204059367 m
H (total)	18,5 m
h (libre)	16,65 m

Cálculo del Tiro en la Cima						
Hipótesis Normal				Hipótesis de Emergencia		
Fcya	1256,88 kg	F11	1241,7 kg	MF1	45342,5747 kgm	
Fvp	222,02 kg	F22	5723,25 kg	Mt	7157,67619 kgm	
Fvhg + RTMHg	386,33 kg	T11	381,51 kg	M	45623,3101 kgm	
Dv	43,20 kg	T22	2897,84 kg	F	2740,13875 kg	
Tc 1a	496,79 kg	T11Hg	155,34 kg			
		T22Hg	1179,96 kg			
		Tc 1-b	1336,26 kg			

2 x 18,5 / 1400 / 2,5 - 350

Cálculo de Ménsula			
Viento sobre conductores	Fvc	411,8 kg	
Viento sobre cuello muerto/aisladores	Fva	8,24 kg	13,675 kg
Peso CM	Pc	6,15 kg	
Peso Aisladores	Pa	55,5 kg	
Ang. Inclinación	a	53,25°	1,49
Long. Mensula	Lm	2,47 m	
Dist.e conductores	dvc	3,2 m	
Dist.min e ménsulas	dvm	2,93 m	Verifica

Determinación de las Alturas	
h1	12,717 m
h2	14,182 m
h3	15,647 m

Método de Langher	
h=	1/3(A+B+C)
A	27,694 m
B	2,84123165350559 m
C	18,6844734425235 m
h	16,406568365343 m
H	18,2295204059367 m
H (total)	18,5 m
h (libre)	16,65 m

Cálculo del Tiro en la Cima						
Hipótesis Normal					Hipótesis de Emergencia	
Fcya	2730,91 kg	F11	2741,79 kg		MF1	34340,4945 kgm
Fvp	222,02 kg	F22	5333,22 kg		Mt	6548,37613 kgm
Fvhg + RTMHg	986,53 kg	T11	1118,53 kg		M	34649,884 kgm
Dv	87,68 kg	T22	2700,36 kg		F	2081,07411 kg
Tc 1a	1048,20 kg	T11Hg	455,45 kg			
		T22Hg	1099,55 kg			
		Tc 1b	2037,55 kg			
		Ftriple	666,30 kg			
3 x 18,5 / 700 / 3 - 260						

Cálculo de Ménsula			
Viento sobre conductores	Fvc	411,8 kg	
Viento sobre cuello muerto/aisladores	Fva	8,24 kg	13,675 kg
Peso CM	Pc	6,15 kg	
Peso Aisladores	Pa	55,5 kg	
Ang. Inclinación	a	53,25°	1,49
Long. Mensula	Lm	2,47 m	
Dist.e conductores	dvc	3,2 m	
Dist.min e ménsulas	dvm	2,93 m	Verifica

Determinación de las Alturas	
h1	12,717 m
h2	14,182 m
h3	15,647 m

Método de Langher	
h=	1/3(A+B+C)
A	27,694 m
B	2,84123165350559 m
C	18,6844734425235 m
h	16,406568365343 m
H	18,2295204059367 m
H (total)	18,5 m
h (libre)	16,65 m

Cálculo del Tiro en la Cima				
Hipótesis Normal			Hipótesis de Emergencia	
Fcya	2730,91078	kg	MF1	22866,917 kgm
Fvp	222,023473	kg	Mt	3609,71975 kgm
Fvhg + RTMHg	986,534342	kg	M	23008,4959 kgm
Dv	89,2447447	kg		
FXX	8658,94647	kg		
Fyy	691,528662	kg		
TC	1428,13264	kg	F	1381,89165 kg

2 x 18,5 / 1500 / 3 - 350

Proyecto Final

Calculo de fundaciones

Tópico 7

1. Introducción

Las fundaciones para los soportes de línea aérea pueden ser:
1) De bloque único
2) De partes separadas
3) Pilotes
4) Placas para las riendas de torre arriostradas.

Las fundaciones de bloque único se pueden calcular con el método de Sulzberger que es particularmente apropiado cuando el suelo presenta resistencia lateral y de fondo con fundaciones profundas; o con el método de Mohr, que se adapta a terrenos son resistencia lateral, con bases anchas.

Hay otros métodos, a saber: Mohr, completado con las tablas de Pohl, la red de líneas de Blass, Kleinlogel – Burkein, Valensi.

Las fundaciones para torres, cuando el suelo presenta buenas características resistentes, generalmente son de "patas separadas".

Los pilotes se emplean para efectuar fundaciones en terrenos en los cuales las características resistentes se encuentran solo "a profundidad".

Finalmente, comentaremos que los postes de madera no se fundaban simplemente enterrados. Se verifica su cimentación con el método de Sulzberger.

1.1 Método del Sulzberger

En la Revista Electrótecnica se explica en detalle el método de Sulzberger, en los ejemplares marzo - abril de 1964 y marzo – abril de 1975. Allí se demuestran las expresiones.

Entre los varios métodos de cálculo de fundaciones, el método de Sulzberger se conoce por su creciente popularidad hace varios años, particularmente en Austria y Suiza. En la Argentina se lo usa también desde hace muchos años y los resultados obtenidos en las regiones con fuertes vientos, justifican esta opinión (Por ejemplo la línea de 66 KV entre Comodoro Rivadavia y Cañadon Seco, construida en el año 1953; la línea de 66 KV entre Gral. Madariaga y Mar de Ajó, construida en 1970, que pasa por terrenos anegadizos, arenosos y normales).

El método se basa sobre un principio verificado experimentalmente, que para las inclinaciones limitadas tales que $\tan(\alpha) < 0{,}01$ $(\alpha = 37')$ el terreno se comporta de manera elástica. En consecuencia se obtiene reacción de las paredes verticales de la excavación y normales a la fuerza actuante sobre el poste, la acción de las paredes está limitada solamente a la fricción que aparecería durante un saqueo vertical del bloque de la fundación. En el método de Sulzberger se acepta que la profundidad de entrada del bloque dentro del terreno depende de la resistencia específica del terreno contra la presión externa en el lugar considerado. La mencionada resistencia específica se llama presión admisible del suelo y se mide en Kg/cm2. Esta presión es igual a la profundidad de entrada multiplicada por el "índice de compresibilidad C".

Así se tiene que:

$$\sigma = \lambda . C$$

Económicamente, el método se adapta particularmente bien para fundaciones profundas en forma de bloques de hormigón para terrenos normales.

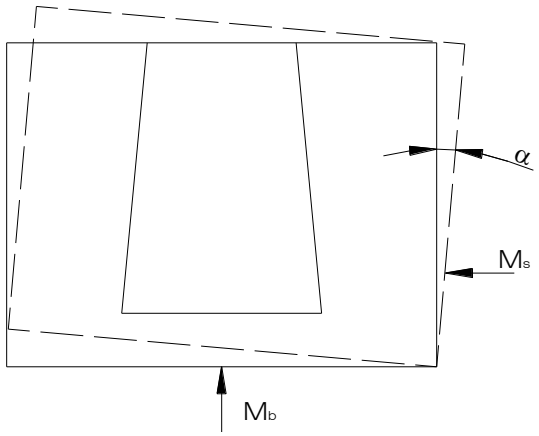
Para el fondo de excavación se acepta el valor de C (llamado Cb) igual hasta 1,2 C.

Siguiendo el principio mencionado se puede decir que la resistencia que se opone a la inclinación de la fundación, se origina en dos efectos:

El encastramiento de la fundación en el terreno como también fricción entre hormigón y tierra a lo largo de las paredes verticales, normales a la fuerza actuante.

Reacción del fondo de la excavación provocada por las cargas verticales.

Las fuerzas mencionadas, se evidencian en el momento Ms (lateral) llamado momento de encastramiento y las otras, en el momento del fondo Mb.



En caso de fundaciones de poca profundidad y dimensiones transversales relativamente grandes, existe la relación (Ms / Mb) < 1.

En resumen, el método se emplea para calcular los siguientes tipos de cimentaciones:

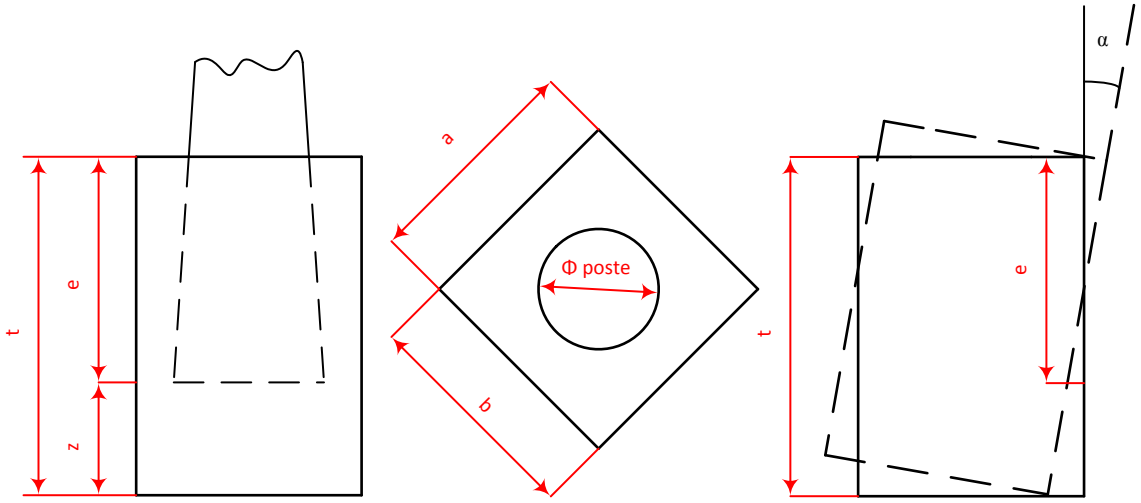
-A bloque único, para poste de hormigón (sean postes triples, dobles o simples). Primero se predimensiona y después se verifica.

-Para verificar la estabilidad de los postes de madera.

En terrenos normales, a 2m de profundidad, los coeficientes de compresibilidad valen:

$$C_t = 6 - 10\,\frac{kg}{cm^3}\ y\ \ C_b = \ 6 - 10\,\frac{kg}{cm^3}$$

Sulzberger determinó que la fundación que la fundación tiene su centro de giro ubicado a 2/3 de la profundidad total



El procedimiento consiste (en la práctica), en asumir los valores de a, b y t, por ello se acostumbra a predimensionar dando:

$$20\ cm\ \leq t - p\ \leq \frac{1}{5}\ t$$

Para fijar los valores de a y b se toman 15 cm en cada lado en el predimensionado

$$a = b = \phi_{poste} + 2\ x\ 15\ cm$$

Para verificar el momento de vuelco:

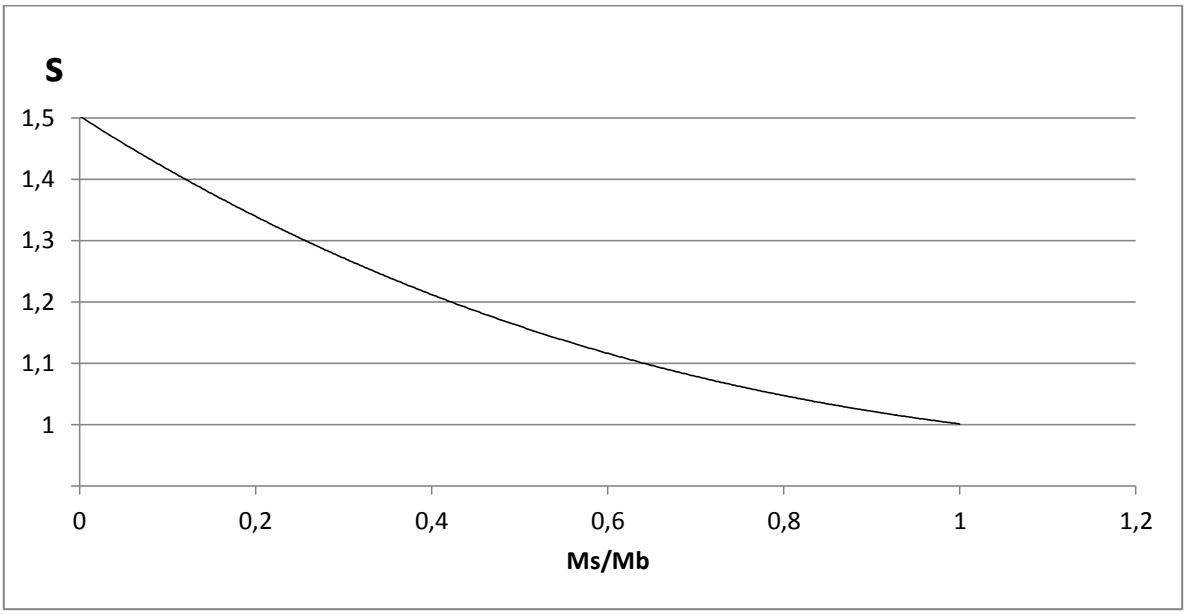
$$M_V = T_C \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t\right)$$

Deben calcularse los momentos estabilizantes. Se pueden seleccionar varias disposiciones. Consideramos dos tipo de ubicación de la fundación: a) dos caras paralelas a la línea y dos perpendiculares a la línea b) las cuatro caras en ángulo, llamada rómbica.

Se debe verificar según Sulzberger, el coeficiente de estabilidad sea tal que:

$$M_s + M_b \geq s \cdot M_V$$

Los tanteos consisten justamente en lograr el valor de s.



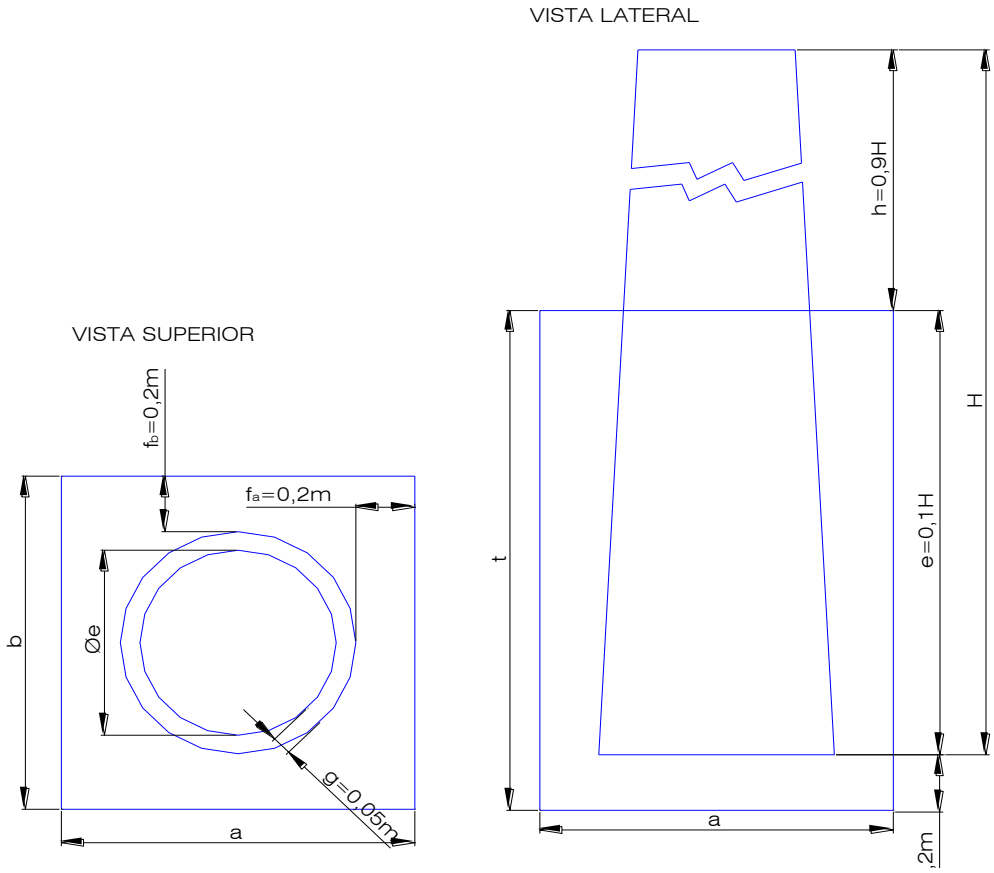
S debería ser 1,5, valores mucho mayores hacen una fundación muy cara y valores menores hacen una fundación inestable, un valor óptimo rescatable es de 1,55 a 1,57.

También es fundamental, verificar la base al hundimiento o sea que la relación G/(axb) sea de un valor menor que la tensión máxima admisible del terreno, pues de lo contrario la base se hundiría(sucede con frecuencia que el poste no se pueda volcar pero si se pueda hundir) en consecuencia se deben verificar ambas condiciones.

A fines de evaluar G se debe considerar el peso del poste más el peso de fundación más el peso de conductores más el peso de aisladores y morsetos.

2. Fundación correspondiente al soporte de suspensión

2.1 Desarrollo



Como la conicidad exterior del poste es de 15 mm x metro según el fabricante, el diámetro del poste en el empotramiento es:

$$\emptyset_e = \emptyset_C + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot h = 31\ cm + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot 18{,}45 = 0{,}58\ cm$$

El diámetro en la base del poste es:

$$\emptyset_b = \emptyset_C + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot h = 31\ cm + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot 20{,}5 = 61\ cm$$

Del esquema superior se puede ver que:

a: ancho del bloque

b: largo del bloque

e: Prof. de empotramiento

fa: hormigonado lateral

fb: hormigonado base

g: espacio para cementado

h: altura libre del poste

H: altura total del poste

t: Prof. de la fundación

Se adoptan los valores:

$$f_a = 0{,}3\ m$$

$$g = 0{,}05\ m$$

Entonces el ancho y largo del bloque quedan:

$$a = b = 2 \cdot f_a + 2 \cdot g + \emptyset_b = 2 \cdot 0{,}3m + 2 \cdot 0{,}05m + 0{,}61m = 1{,}31m$$

La altura del bloque es:

$$t = e + f_b = 2{,}05\ m + 0{,}20\ m = 2.25m$$

2.2 Calculo del peso total

El peso total G [kg],está dado por:

$$G = G_p + G_f + G_{tg} + G_{mf} + G_{mhg} + G_{cf} + G_{hg} + G_{ca-ma} =$$

$$G = 7966\ Kg + 9117\ Kg + 4152\ Kg + 900\ Kg + 40\ Kg + 923\ Kg + 99\ Kg + 137\ Kg$$

$$= 23333Kg$$

G_p: Peso del poste = 7966 Kg

G_f: Peso del hormigón

Gt_g: Peso de la tierra gravante

Suponemos un ángulo de tierra gravante $\beta = 8^o$

Peso específico de la arcilla fina ceca 1700 kg/m3

$$\lambda = \frac{a}{2} \cdot \tan(beta) = \frac{1.25}{2} \cdot 0.01 = 0.00725$$

$$G_{tg} = t^2 \cdot \tan\beta \cdot (a + b + 2 \cdot t \cdot \tan\beta) \cdot \gamma =$$

$$= 2.5^2 \cdot \tan 8 \cdot (1.40 + 1.40 + 2 \cdot 2.25 \cdot \tan 8) \cdot 1700 = 5380Kg$$

G_{mf}: Peso de la ménsula para conductores de fase = $3 \cdot 300Kg = 900Kg$

G_{mhg}: Peso de la ménsula para el hilo de guardia = $40Kg$

G_{cf}: Peso de los conductores de fase =

$$G_{cf} = \frac{3 \cdot P}{Km} \cdot lvano = 3fases \cdot 1230\frac{Kg}{Km} \cdot 0.25Km = 923Kg$$

G_{hg}: Peso del hilo de guardia = 0.4Kg por metro

$$0.396\frac{Kg}{m} \cdot 250m = 99Kg$$

$G_{ca\text{-}ma}$: Peso de la cadena de aisladores y es el peso de la morsetería y accesorios

$$G_{ca-ma} = 3fases \cdot 4.5\ \frac{Kg}{aisl} \cdot 9aisl + 15Kg_{morseteria} = 166.5Kg$$

2.3 Verificación al hundimiento:

La presión en el fondo de la base (σ) es:

$$\sigma = \frac{G}{a \cdot b}$$

G : Peso total [Kg]

a, b: lados de la base de la fundación [cm]

Como la presión ejercida sobre el suelo es menor a la máxima admitida, la fundación verifica al hundimiento.

$$\sigma = \frac{G}{a \cdot b} = \frac{23333}{140 * 140}\frac{Kg}{cm^2} = 1{,}19 < 1{,}5\frac{Kg}{cm^2}$$

Verifica al hundimiento.

2.4 Cálculo del ángulo límite para el Momento lateral

Hay que verificar que tg α_1< 0,01:

$$\tan(\alpha_1) = \frac{6 \cdot \mu \cdot G}{b \cdot C_t \cdot t^2} =$$

μ : coeficiente de fricción entre el hormigón y la tierra= 0.6
G: resultante de las cargas verticales. [Kg]
b: lado de la base de la fundación normal al tiro en la cima del poste. [cm]
C_t: coeficiente de compresibilidad a la profundidad t[Kg/cm^3]

$$C_t = \frac{C}{2m} \cdot t = \frac{7000\frac{Kg}{cm^3}}{2m} \cdot 2{,}25\ m = 7875\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_1) = \frac{6 \cdot 0.6 \cdot 23333\ Kg}{1{,}40m.\ 7875\frac{Kg}{m^3} \cdot (2{,}25m)^2} = 0.0015 < 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_1) < 0.01$$

2.5 Cálculo del momento lateral:

Aunque se haya verificado que tg α1< 0,01, se debe considerar para el cálculo de Ms tal que la tg α= 0,01, es decir, contemplamos el caso más desfavorable. El momento lateral para una disposición romboidal es:

$$M_s = \frac{b \cdot t^3 \cdot C_t \cdot \tan\alpha}{36} = \frac{1.40m \cdot (2{,}25m)^3}{36} \cdot 7875\frac{Kg}{m^3} \cdot 0.01 \cong 34884Kgm$$

2.6 Cálculo del ángulo límite para el momento de fondo

Hay que verificar que tg α2< 0,01:

$$\tan(\alpha_2) = \frac{2 \cdot G}{a^2 \cdot b \cdot C_b} =$$

G: resultante de las cargas verticales. [Kg]
a, b: lados de la base de la fundación. [cm]
Cb: coeficiente de compresibilidad en el fondo de la base de la fundación. [Kg/cm3]

$$C_b = \frac{C}{2m} \cdot t = \frac{6500\frac{Kg}{m^3}}{2m} \cdot 2{,}25m = 7313\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_2) = \frac{2 \cdot 23333\ Kg}{(1{,}4)^2 \cdot 1{,}4\ m \cdot 7313\frac{Kg}{m^3}} = 0.0023 =< 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_2) < 0.01$$

2.7 Cálculo del momento de fondo:

Utilizando el mismo razonamiento que para el momento lateral, tenemos:

$$M_b = G \cdot \left(0.5 \cdot a - \sqrt[2]{\frac{G}{C_b \cdot b \cdot \tan(\alpha)}} \right) =$$

$$M_b = 23333Kg \cdot \left(0.5 \cdot 1{,}40m - \sqrt[2]{\frac{23333Kg}{7313\frac{Kg}{m^3} \cdot 100^3 \cdot 1.40m \cdot 0.01}} \right) = 11098\ Kgm$$

2.8 Cálculo del momento de vuelco:

El momento de vuelco (Mv) se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_V = T_C \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t \right) = 1504Kg \cdot \left(18{,}45m + \frac{2}{3} \cdot 2.25m \right) = 30005Kgm$$

Tc: Tiro en la cima para el caso más desfavorable [Kg]

h: altura libre [m]

t: profundidad de la fundación [m]

2.9 Verificación al Vuelco

Si se cumple la verificación final correspondiente a cada caso, entonces el predimensionamiento de la fundación es correcto y se aceptan los correspondientes valores.

$$M_s + M_b \geq s \cdot M_V$$

$$34884\ Kgm + 11098\ Kgm \geq 1{,}5.30005Kgm$$

$$\frac{34884\ Kgm + 11098\ Kgm}{30005Kgm} \geq 1.5$$

$$1.532 \geq 1.5$$

La fundación verifica

2.10 Dimensiones de la fundación

De los cálculos iterativos realizados, se llega las siguientes dimensiones:

a= 1,40 m ; b= 1,40 m ; t= 2,25m

3. Fundación correspondiente al soporte R

3.1 Desarrollo

Como la conicidad exterior del poste es de 15 mm x metro según el fabricante, el diámetro del poste en el empotramiento es:

$$\emptyset_e = \emptyset_C + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot h = 35\ cm + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot 16{,}65m = 0{,}60\ m$$

El diámetro en la base del poste es:

$$\emptyset_b = \emptyset_C + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot h = 35\ cm + 1{,}5\ \frac{cm}{m} \cdot 16{,}65m = 0{,}63\ m$$

Se adoptan los valores:

$$f_a = 0{,}3\ m$$

$$g = 0{,}05\ m$$

Entonces el ancho y largo del bloque quedan:

$$a = b = 2 \cdot f_a + 2 \cdot g + \emptyset_b = 2 \cdot 0{,}3m + 2 \cdot 0{,}05m + 0{,}61m = 1{,}31m$$

La altura del bloque es:

$$t = e + f_b = 1{,}85\ m + 0{,}65\ m = 2.25m$$

3.2 Calculo del peso total

El peso total G [kg],está dado por:

$$G = G_p + G_f + G_{tg} + G_{mf} + G_{mhg} + G_{cf} + G_{hg} + G_{ca-ma} =$$

$$G = 10836\ Kg + 30437\ Kg + 8217\ Kg + 900\ Kg + 40\ Kg + 923\ Kg + 99\ Kg + 258\ Kg$$

$$= 10836\ Kg$$

G_p: Peso del poste = 2x5418 Kg

G_f: Peso del hormigón

Gt_g: Peso de la tierra gravante

Suponemos un ángulo de tierra gravante $\beta = 8^o$

Peso específico de la arcilla fina ceca 1700 kg/m3

$$\lambda = \frac{a}{2} \cdot \tan(beta) = \frac{1.25}{2} \cdot 0.01 = 0.00725$$

$$G_{tg} = t^2 \cdot \tan\beta \cdot (a + b + 2 \cdot t \cdot \tan\beta) \cdot \gamma =$$

$$= 2.5^2 \cdot \tan 8 \cdot (2.40 + 2.40 + 2 \cdot 2.5 \cdot \tan 8) \cdot 1700 = 8217Kg$$

G_{mf}: Peso de la ménsula para conductores de fase = $3 \cdot 300Kg = 900Kg$

G_{mhg}: Peso de la ménsula para el hilo de guardia = $40Kg$

G_{cf}: Peso de los conductores de fase =

$$G_{cf} = \frac{3 \cdot P}{Km} \cdot lvano = 3fases \cdot 1230\frac{Kg}{Km} \cdot 0.25Km = 923Kg$$

G_{hg}: Peso del hilo de guardia = 0.4Kg por metro

$$0.396\frac{Kg}{m} \cdot 250m = 99Kg$$

$G_{ca\text{-}ma}$: Peso de la cadena de aisladores y es el peso de la morsetería y accesorios

$$G_{ca-ma} = 3fases \cdot 4.5\ \frac{Kg}{aisl} \cdot 9aisl\ .2 + 15Kg_{morseteria} = 258\ Kg$$

3.3 Verificación al hundimiento:

$$\sigma = \frac{G}{a \cdot b} = \frac{55724}{2{,}4\,.\,2{,}4}\frac{Kg}{m^2} = 0{,}91 < 1{,}5\frac{Kg}{cm^2}$$

Verifica al hundimiento.

3.4 Cálculo del ángulo límite para el Momento lateral

$$C_t = \frac{C}{2m} \cdot t = \frac{7000\frac{Kg}{cm^3}}{2m} \cdot 2{,}5\ m = 8750\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_1) = \frac{6 \cdot 0.6 \cdot 51709\ Kg}{2{,}4m.\,8750\frac{Kg}{m^3} \cdot (2{,}5m)^2} = 0{,}0014 < 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_1) < 0.01$$

3.5 Cálculo del momento lateral:

$$M_s = \frac{1{,}41\ b \cdot t^3 \cdot C_t \cdot \tan\alpha}{36} = \frac{1{,}41\,.\,2{,}4m \cdot (2{,}5m)^3}{36} \cdot 8750\frac{Kg}{m^3} \cdot 0.01 \cong 128516\ Kgm$$

3.6 Cálculo del ángulo límite para el momento de fondo

$$C_b = \frac{C}{2m} \cdot t = \frac{6500\frac{Kg}{m^3}}{2m} \cdot 2{,}5m = 8125\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_2) = \frac{2 \cdot 51709\ Kg}{(2{,}4m)^2 \cdot 2{,}5\ m \cdot 8125\frac{Kg}{m^3}} = 0.0009 =< 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_2) < 0.01$$

3.7 Cálculo del momento de fondo:

$$M_b = 51709\ Kg \cdot \left(0.5 \cdot 2.4m - \sqrt[2]{\frac{51709Kg}{8125\frac{Kg}{m^3} \cdot 100^3 \cdot 2.4m \cdot 0.01}} \right) = 39827\ Kgm$$

3.8 Cálculo del momento de vuelco:

El momento de vuelco (Mv) se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_V = T_C \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t\right) = 5835\ Kg \cdot \left(16{,}65m + \frac{2}{3} \cdot 2.5m\right) = 106878Kgm$$

3.9 Verificación al Vuelco

$$M_s + M_b \geq s \cdot M_V$$

$$128516\ Kgm + 19827\ Kgm \geq 1{,}5\ .106878\ Kgm$$

$$\frac{128516\ Kgm + 19827\ Kgm}{106878Kgm} \geq 1.5$$

$$1{,}575 \geq 1.5$$

La fundación verifica

3.10 Dimensiones de la fundación

De los cálculos iterativos realizados, se llega las siguientes dimensiones:

a= 2,40 m ; b= 2,40 m ; t= 2,5m

4. Fundación correspondiente al soporte RA/15°

4.1 Desarrollo

$$\emptyset_e = 0{,}60\ m$$

$$\emptyset_b = 0{,}63\ m$$

Se adoptan los valores:

$$f_a = 0{,}3\ m$$

$$g = 0{,}05\ m$$

Entonces el ancho y largo del bloque quedan:

$$a = b = 2{,}40m$$

La altura del bloque es:

$$t = e + f_b = 1{,}85\ m + 0{,}65\ m = 2.50m$$

4.2 Calculo del peso total

El peso total G [kg],está dado por:

$$G = G_p + G_f + G_{tg} + G_{mf} + G_{mhg} + G_{cf} + G_{hg} + G_{ca-ma}$$

$$G = 10836\ Kg + 30437\ Kg + 8217\ Kg + 900\ Kg + 40\ Kg + 923\ Kg + 99\ Kg + 258\ Kg$$

$$= 51709\ Kg$$

4.3 Verificación al hundimiento:

$$\sigma = 0{,}91 < 1{,}5\frac{Kg}{cm^2}$$

Verifica al hundimiento.

4.4 Cálculo del ángulo límite para el Momento lateral

$$C_t = 8750\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_1) = \frac{6 \cdot 0.6 \cdot 51709\ Kg}{2{,}4m.\, 8750 \frac{Kg}{m^3} \cdot (2{,}5m)^2} = 0{,}0014 < 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_1) < 0.01$$

4.5 Cálculo del momento lateral:

$$M_s = \frac{1{,}41\ b \cdot t^3 \cdot C_t \cdot \tan\alpha}{36} = \frac{1{,}41\ .\ 2{,}4m \cdot (2{,}5m)^3}{36} \cdot 8750 \frac{Kg}{m^3} \cdot 0.01 \cong 128516\ Kgm$$

4.6 Cálculo del ángulo límite para el momento de fondo

$$C_b = 8125 \frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_2) = \frac{2 \cdot 51709\ Kg}{(2{,}4m)^2 \cdot 2{,}5\ m \cdot 8125 \frac{Kg}{m^3}} = 0.0009 =< 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_2) < 0.01$$

4.7 Cálculo del momento de fondo:

$$M_b = 51709Kg \cdot \left(0.707 \cdot 2.4m - \sqrt[2]{\frac{51709Kg}{8125 \frac{Kg}{m^3} \cdot 100^3 \cdot 2.4m \cdot 0.01}} \right) = 39827\ Kgm$$

4.8 Cálculo del momento de vuelco:

El momento de vuelco (Mv) se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_V = T_C \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t\right) = 5853\ Kg \cdot \left(16{,}65m + \frac{2}{3} \cdot 2.5m\right) = 107207\ Kgm$$

4.9 Verificación al Vuelco

$$M_s + M_b \geq s \cdot M_V$$

$$128516\ Kgm + 39827\ Kgm \geq 1{,}5\ .\ 107207\ Kgm$$

$$\frac{128516\ Kgm + 39827\ Kgm}{107207\ Kgm} \geq 1.5$$

$$1{,}57 \geq 1.5$$

La fundación verifica

4.10 Dimensiones de la fundación

De los cálculos iterativos realizados, se llega las siguientes dimensiones:

a= 2,40 m ; b= 2,40 m ; t= 2,5m

5. Fundación correspondiente al soporte RA/45°

5.1 Desarrollo

$$\emptyset_e = 0{,}52\ m$$

$$\emptyset_b = 0{,}55\ m$$

Se adoptan los valores:

$$f_a = 0{,}3\ m$$

$$g = 0{,}05\ m$$

Entonces el ancho y largo del bloque quedan:

$$a = b = 2{,}35m$$

La altura del bloque es:

$$t = e + f_b = 2.70m$$

5.2 Calculo del peso total

El peso total G [kg],está dado por:

$$G = G_p + G_f + G_{tg} + G_{mf} + G_{mhg} + G_{cf} + G_{hg} + G_{ca-ma}$$

$$G = 13101\ Kg + 31403\ Kg + 9508\ Kg + 900\ Kg + 40\ Kg + 923\ Kg + 99\ Kg + 258\ Kg$$

$$= 56232\ Kg$$

5.3 Verificación al hundimiento:

$$\sigma = 1.02 < 1{,}5\frac{Kg}{cm^2}$$

Verifica al hundimiento.

5.4 Cálculo del ángulo límite para el Momento lateral

$$C_t = 9450\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_1) = \frac{6 \cdot 0.6 \cdot 56232\ Kg}{2{,}35m.\ 9450\frac{Kg}{m^3} \cdot (2.7m)^2} = 0{,}0013 < 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_1) < 0.01$$

5.5 Cálculo del momento lateral:

$$M_s = \frac{2{,}35m \cdot (2{,}7m)^3}{36} \cdot 9450\frac{Kg}{m^3} \cdot 0.01 \cong 121420Kgm$$

5.6 Cálculo del ángulo límite para el momento de fondo

$$C_b = 8775\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_2) = \frac{2 \cdot 56232\ \ Kg}{(2{,}35m)^2 \cdot 2{,}7\ m \cdot 8775\frac{Kg}{m^3}} = 0.001 =< 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_2) < 0.01$$

5.7 Cálculo del momento de fondo:

$$M_b = 56232Kg \cdot \left(0.5 \cdot 2.35m - \sqrt[2]{\frac{56232Kg}{8775\ \frac{Kg}{m^3} \cdot 100^3 \cdot 2.35m \cdot 0.01}} \right) = 52271\ Kgm$$

5.8 Cálculo del momento de vuelco:

El momento de vuelco (Mv) se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_V = T_C \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t\right) = 5997\ Kg \cdot \left(16{,}65m + \frac{2}{3} \cdot 2.7m\right) = 110645\ Kgm$$

5.9 Verificación al Vuelco

$$M_s + M_b \geq s \cdot M_V$$

$$121420\ Kgm + 52271\ Kgm \geq 1{,}5\ .\ 110645\ Kgm$$

$$\frac{121420\ Kgm + 52271\ Kgm}{110645\ Kgm} \geq 1.5$$

$$1{,}57 \geq 1.5$$

La fundación verifica

5.10 Dimensiones de la fundación

De los cálculos iterativos realizados, se llega las siguientes dimensiones:

a= 2,35 m ; b= 2,35 m ; t= 2,7m

6. Fundación correspondiente al soporte Terminal

6.1 Desarrollo

$$\emptyset_e = 0{,}62\ m$$

$$\emptyset_b = 0{,}65\ m$$

Se adoptan los valores:

$$f_a = 0{,}3\ m$$

$$g = 0{,}05\ m$$

Entonces el ancho y largo del bloque quedan:

$$a = b = 2{,}75m$$

La altura del bloque es:

$$t = 2.7m$$

6.2 Calculo del peso total

El peso total G [kg],está dado por:

$$G = G_p + G_f + G_{tg} + G_{mf} + G_{mhg} + G_{cf} + G_{hg} + G_{ca-ma}$$

$$G = 10836\ Kg + 43593\ Kg + 10901\ Kg + 900\ Kg + 40\ Kg + 923\ Kg + 99\ Kg + 137\ Kg$$

$$= 67428\ Kg$$

6.3 Verificación al hundimiento:

$$\sigma = 0.89 < 1{,}5\frac{Kg}{cm^2}$$

Verifica al hundimiento.

6.4 Cálculo del ángulo límite para el Momento lateral

$$C_t = 9450\frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_1) = \frac{6 \cdot 0.6 \cdot 67428\ Kg}{2{,}75m.\ 8750\frac{Kg}{m^3} \cdot (2.7m)^2} = 0{,}0013 < 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_1) < 0.01$$

6.5 Cálculo del momento lateral:

$$M_s = \frac{1.41\ .2{,}75m \cdot (2{,}7m)^3}{36} \cdot 8750\frac{Kg}{m^3} \cdot 0.01 \cong 200342\ Kgm$$

6.6 Cálculo del ángulo límite para el momento de fondo

$$C_b = 8775\ \frac{Kg}{m^3}$$

Entonces:

$$\tan(\alpha_2) = \frac{2 \cdot 67428\ \ Kg}{(2{,}75m)^2 \cdot 2{,}70\ m \cdot 8125\frac{Kg}{m^3}} = 0.0007 =< 0.01$$

Verifica que:

$$\tan(\alpha_2) < 0.01$$

6.7 Cálculo del momento de fondo:

$$M_b = 67428\ Kg \cdot \left(0.707\ .\ 2.75\ m - \sqrt[2]{\frac{67428\ Kg}{8775\ \frac{Kg}{m^3} \cdot 100^3 \cdot 2.75m \cdot 0.01}} \right) = 67520\ Kgm$$

6.8 Cálculo del momento de vuelco:

El momento de vuelco (Mv) se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_V = T_C \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t\right) = 8686{,}52\ Kg \cdot \left(16{,}65m + \frac{2}{3} \cdot 2.7m\right) = 171993\ Kgm$$

6.9 Verificación al Vuelco

$$M_s + M_b \geq s \cdot M_V$$

$$200342\ Kgm + 67520\ Kgm \geq 1{,}5\ .\ 171993\ Kgm$$

$$\frac{200342\ Kgm + 67520\ Kgm}{171993\ Kgm} \geq 1.5$$

$$1{,}557 \geq 1.5$$

La fundación verifica

6.10 Dimensiones de la fundación

De los cálculos iterativos realizados, se llega las siguientes dimensiones:

a= 2,75 m ; b= 2,75 m ; t= 2,7m

Datos del proyecto		
Densidad HA	2200	kg/m3
Angulo tierra gravante	8	grados
Peso especifico de la tierra	1700	kg/m3
Peso del conductor por kilometro	1230	Kg/km
Peso del conductor por kilometro	396	Kg/km
Long del vano	0,25	km
Peso por aislador	4,5	Kg/aisla
Peso de la morseteria	15	Kg
Tan(alfa)	0,01	
Coef. compresibilidad lateral a 2 mts	7000	kg/m3
Coef. compresibilidad de fondo a 2 mts	6500	kg/m3
Coef. de fricción entre el HA y la tierra	0,6	
Capacidad portante del tereno	1,5	Kg/cm2

TIRO EN LA CIMA:	1504	Kg

Dimensiones		
	m	cm
H	20,5	2050
h	18,45	1845
e	2,15	215
d cima	0,31	30,5
d empotra	0,58	58,175
d base	0,61	61,25
fa	0,3	30
g	0,05	5
a	**1,40**	140
b	**1,40**	140
t	**2,25**	225

1°) Pesos	
	Kg
Gp	7966
Gf	9117
Gtg	4152
Gmf	900
Gmhg	40
Gcf	923
Ghg	99
Gca-ma	137
Gtotal	23333

2°) Verificacion del hundimiento
SI cumple el hundimiento

3°) Calculo del angulo limite para ML		
Ct	7875	kg/m3
Tan(alfa1)	0,0015	
Verifica alfa 1		

4°) Calculo del ML		
ML	34884	Kgm

5°) Calculo del angulo limite para ML		
Cb	7313	kg/m3
Tan(alfa2)	0,0023	
Verifica alfa 2		

6°) Calculo del Mf		
Mf	11098	Kgm

7°) Calculo del Mv		
Mv	30005	Kgm

8°) Verificacion al vuelco		
	1,532	
	1,5	
Verifica al vuelco		

TIRO EN LA CIMA:	5835	Kg

Dimensiones		
	m	cm
H	18,5	1850
h	16,65	1665
e	1,85	185
d cima	0,35	35
d empotra	0,60	59,975
d base	0,63	62,75
fa	0,3	30
g	0,05	5
a	**2,40**	240
b	**2,40**	240
t	**2,5**	250

1°) Pesos	
	Kg
Gp	10836
Gf	30437
Gtg	8217
Gmf	900
Gmhg	40
Gcf	923
Ghg	99
Gca-ma	258
Gtotal	51709

2°) Verificacion del hundimiento
SI cumple el hundimiento

3°) Calculo del angulo limite para ML		
Ct	8750	kg/m3
Tan(alfa1)	0,0014	
Verifica alfa 1		

4°) Calculo del ML		
ML	128516	Kgm

5°) Calculo del angulo limite para ML		
Cb	8125	kg/m3
Tan(alfa2)	0,0009	
Verifica alfa 2		

6°) Calculo del Mf		
Mf	39827	Kgm

7°) Calculo del Mv		
Mv	106878	Kgm

8°) Verificacion al vuelco		
	1,575	
	1,5	
Verifica al vuelco		

TIRO EN LA CIMA:	5853	Kg

Dimensiones		
	m	cm
H	18,5	1850
h	16,65	1665
e	1,85	185
d cima	0,35	35
d empotra	0,60	59,975
d base	0,63	62,75
fa	0,3	30
g	0,05	5
a	**2,40**	240
b	**2,40**	240
t	**2,5**	250

1°) Pesos	
	Kg
Gp	10836
Gf	30437
Gtg	8217
Gmf	900
Gmhg	40
Gcf	923
Ghg	99
Gca-ma	258
Gtotal	51709

2°) Verificacion del hundimiento
SI cumple el hundimiento

3°) Calculo del angulo limite para ML		
Ct	8750	kg/m3
Tan(alfa1)	0,0014	
Verifica alfa 1		

4°) Calculo del ML		
ML	128516	Kgm

5°) Calculo del angulo limite para ML		
Cb	8125	kg/m3
Tan(alfa2)	0,0009	
Verifica alfa 2		

6°) Calculo del Mf		
Mf	39827	Kgm

7°) Calculo del Mv		
Mv	107207	Kgm

8°) Verificacion al vuelco		
	1,570	
	1,5	
Verifica al vuelco		

TIRO EN LA CIMA:	5997	Kg

Dimensiones		
	m	cm
H	18,5	1850
h	16,65	1665
e	2,15	215
d cima	0,27	27
d empotra	0,52	51,975
d base	0,55	54,75
fa	0,3	30
g	0,05	5
a	**2,35**	235
b	**2,35**	235
t	**2,7**	270

1°) Pesos	
	Kg
Gp	13101
Gf	31403
Gtg	9508
Gmf	900
Gmhg	40
Gcf	923
Ghg	99
Gca-ma	258
Gtotal	56232

2°) Verificacion del hundimiento
SI cumple el hundimiento

3°) Calculo del angulo limite para ML		
Ct	9450	kg/m3
Tan(alfa1)	0,0013	
Verifica alfa 1		

4°) Calculo del ML		
ML	121420	Kgm

5°) Calculo del angulo limite para ML		
Cb	8775	kg/m3
Tan(alfa2)	0,0010	
Verifica alfa 2		

6°) Calculo del Mf		
Mf	52271	Kgm

7°) Calculo del Mv		
Mv	110645	Kgm

8°) Verificacion al vuelco		
	1,570	
	1,5	
Verifica al vuelco		

TIRO EN LA CIMA:	8686,51632	Kg

Dimensiones		
	m	cm
H	20	2000
h	18	1800
e	2,15	215
d cima	0,35	35
d empotra	0,62	62
d base	0,65	65
fa	0,3	30
g	0,05	5
a	**2,75**	275
b	**2,75**	275
t	**2,7**	270

1°) Pesos	
	Kg
Gp	10836
Gf	43593
Gtg	10901
Gmf	900
Gmhg	40
Gcf	923
Ghg	99
Gca-ma	137
Gtotal	67428

2°) Verificacion del hundimiento
SI cumple el hundimiento

3°) Calculo del angulo limite para ML		
Ct	9450	kg/m3
Tan(alfa1)	0,0013	
Verifica alfa 1		

4°) Calculo del ML		
ML	200342	Kgm

5°) Calculo del angulo limite para ML		
Cb	8775	kg/m3
Tan(alfa2)	0,0007	
Verifica alfa 2		

6°) Calculo del Mf		
Mf	67520	Kgm

7°) Calculo del Mv		
Mv	171993	Kgm

8°) Verificacion al vuelco		
	1,557	
	1,5	
Verifica al vuelco		

Proyecto Final

Puesta a tierra

Tópico 8

1. Definiciones

- Toma a Tierra: Se denomina al conjunto de dispositivos que permiten vincular a potencial de tierra, y entre sí, las masas metálicas de los sostenes, aparatos, equipos e hilo de guardia.

- Tensión de Paso (Vp): Es la tensión que resulta entre los pies de una persona apoyada en el suelo a la distancia de un metro.

- Tensión de Contacto (Vc): Es la tensión a la cual se puede ver sometido el cuerpo humano por contacto con una carcasa o estructura metálica de una máquina, aparato eléctrico o estructura de montaje, que en condiciones normales no se encuentra con tensión.

- Resistencia Eléctrica del Cuerpo Humano: La resistencia interna del cuerpo humano es de aproximadamente de 200 Ω. La resistencia de contacto entre una mano y un conductor o una parte metálica bajo tensión varía dentro de límites muy amplios, según sea la extensión y naturaleza de la superficie de contacto, de la naturaleza de la piel de las personas (lisa ó callosa), del grado de humedad de la piel, etc.
  La resistencia de contacto entre el pie y el suelo puede variar considerablemente según sean las condiciones del calzado y del suelo.

- Tensiones de Seguridad: Se recomienda que en ningún punto de una instalación eléctrica se presenten tensiones de paso o de contacto superiores a los siguientes valores:
  - 60 V cuando no se prevé la eliminación rápida de una falla de línea a tierra.
  - 120 V cuando la falla se elimine en un período de un segundo.

2. Toma a Tierra

El sistema utilizado para el proyecto de la línea aérea de 132 kV, está formado por los hilos de guardia, postes, vínculos y el suelo. Se busca que la resistencia eléctrica del conjunto sea la mas baja posible. La unión de los cables de guardia, el soporte y la conexión a su parte metálica asegura un contacto eléctrico aceptable, pero su vinculación al suelo presentan una dificultad mayor.

Se debe considerar que durante la evacuación de las corrientes de falla en las cercanías de los soportes forman campos eléctricos, y la diferencia de potencial entre ciertos puntos de este campo puede alcanzar valores elevados. Una persona al encontrarse en dicho campo eléctrico, se verá sometido a una tensión de paso, lo que puede ocasionar lesiones y hasta la electrocución, sobretodo considerando que las líneas de alta tensión, pasan a menudo, por zonas urbanas, terrenos cultivados y cruzan caminos.

Los peligros de tensiones de paso, no deben descuidarse, por esa razón, para el calculo de la puesta a tierra, no se deben sobrepasar los 10 ohm. Para lograr estos valores se utilizarán tres tipos de electrodos conductores, jabalinas verticales, cables horizontales (contrapesos) y, de ser necesario, anillos.

3. Puesta a tierra de estructuras de líneas aérea

Usualmente se adopta como electrodo de tierra una jabalina vertical, que puede ser un tubo de acero galvanizado o un perfil de hierro galvanizado. En terrenos de alta agresividad donde el acero o hierro galvanizado se degrade rápidamente, se utiliza una jabalina vertical tipo COPERWELD (cobre con alma de acero) hincada como mínimo a 0,50m del nivel del suelo y a 1,50m de la fundación de HºAº.

En una línea de alta tensión se debe colocar a tierra el cable de guardia, todos los elementos metálicos del poste y las ménsulas, como también los vínculos, a través de un hierro expresamente colocado en el interior de las estructuras que va desde la cima hasta la base, con sus respectivas tomas de tierra: superior para el cable de guardia, intermedios para ménsulas y vínculos e inferior para la jabalina. Se suelda al mencionado hierro una tuerca de bronce o hierro galvanizado donde se rosca el tornillo del morseto de PAT donde se conectan los cables que van respectivamente a la jabalina y a cada elemento a poner a tierra.

En puestas a tierra dificultosas se pueden utilizar varios electrodos en paralelo. Otra forma de mejorar la PAT es utilizando contrapesos (cables enterrados de acero galvanizado a aproximadamente 0,50m del nivel del terreno), también se puede utilizar la combinación de jabalinas y contrapesos.

Se conectarán a tierra las estructuras de acero y de hormigón armado. La tierra de protección se dimensionará de ser posible para una resistencia de puesta a tierra $R_t = \frac{V}{I_c}$; siendo Ic la corriente de falla a tierra, definida como:

- La corriente capacitiva de falla a tierra en redes con neutro aislado.
- La corriente residual de falla a tierra, en redes con elemento de despeje de falla.
- La corriente de cortocircuito a tierra, en redes con neutro rígido a tierra o a través de resistencia limitadora de bajo valor.

El valor de la resistencia de transición R_t podrá sobrepasar el valor obtenido según las condiciones anteriores solo cuando se apliquen medidas por medio de las cuales sea improbable que se produzca un contacto a tierra en la estructura o cuando se reduzca su duración a un tiempo lo mas corto posible. Esta condición se satisface cuando se apliquen alguna de las siguientes medidas:

- Utilización de aisladores cuyo tipo de construcción no haga presumir la posibilidad de perforación.
- Control periódico de los aisladores durante el servicio.
- Disposición de los conductores para evitar que la rotura de un aislador provoque un desplazamiento de aquellos sobre crucetas de la estructura.
- Instalación de dispositivos de rápida desconexión en el caso de fallas a tierra.

En aquellas estructuras en que se disponga equipamiento de maniobra u otro que haga posible la mayor frecuencia en la presencia de personal al pie de las mismas, los postes de acero u hormigón armado se colocarán a tierra cerciorándose de no sobrepasar los valores máximos admitidos por norma.

4. Cálculos

La resistencia del electrodo único vertical se puede calcular según la siguiente formula:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} * ln\frac{2L}{r}$$

Teniendo en promedio una resistividad del terreno ρ = 30 Ω*m y utilizando una jabalina de L = 3m y $r = 8.1mm$, obtenemos un valor de R = 10.5 Ω.

De ser superado este valor se utilizarán jabalinas en paralelo y/o contrapesos para mejorar el valor de la resistencia de PAT.

5. Montaje de las puestas a tierra

En función de la estructura a poner a tierra y de las propiedades del suelo se emplearán distintas cantidades de contrapesos en cada piquete y/o jabalinas.

Los sistemas de puesta a tierra se describen en plano adjunto.

Todos los elementos de acero serán galvanizados en caliente.

Toda superficie de cobre, bronce o similar que quede en contacto con acero galvanizado deberá ser estañada.

5.1 Requisitos a cumplir

Se considera para la resistencia de puesta a tierra, no deberá superar un valor promedio de 10 Ohm a lo largo de la línea, pudiendo aceptarse valores de hasta 40 Ohm en casos puntuales, donde no se pueda conseguir valores menores, siempre que el valor promedio de la misma con la de los cuatro (4) valores inmediatamente adyacentes (2 a cada lado) no supere los 10 Ohm.

Una vez instalada la puesta a tierra inicial tipificada y previo a la ejecución de la soldadura cuproaluminotérmica cable-cable ó jabalina-cable, se efectuará una conexión provisoria con morseto y se procederá a la medición de la resistencia de puesta a tierra. Si la misma es satisfactoria se realizará la soldadura. En caso contrario se colocarán los elementos adicionales correspondientes y se repetirá el procedimiento de medición hasta obtener la resistencia adecuada, procediéndose entonces a realizar la soldadura.

Proyecto Final

Trasposición de la Línea

Tópico 9

1. Introducción

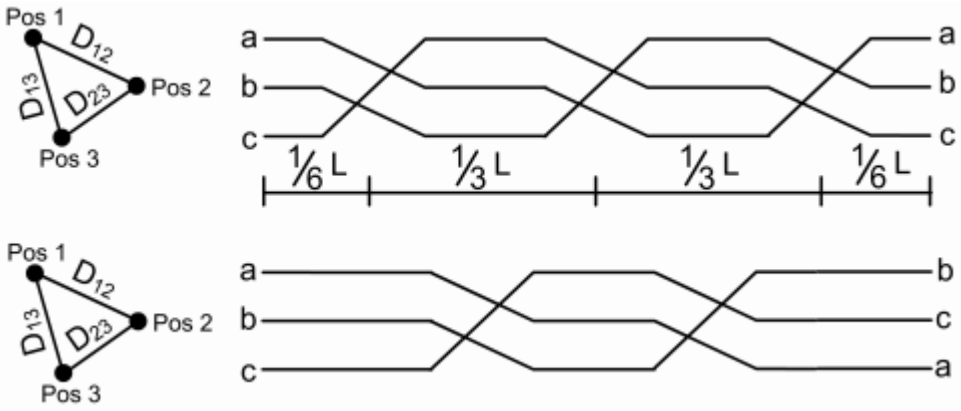
Debemos distinguir dos tipos de líneas. Con disposición simétrica y con disposición asimétrica. Las primeras no necesitan transposiciones para equilibrar sus parámetros, en cambio las asimétricas deben ser transpuestas a lo largo de su recorrido.

En nuestro caso la distribución elegida es la asimétrica.

Líneas con disposición asimétrica

Como dijimos anteriormente, en una línea con disposición asimétrica las concatenaciones de flujo no son iguales para todos los conductores. Esta situación puede superarse haciendo que cada conductor recorra un tercio de la longitud de la línea en cada posición de manera que el promedio de inductancias en las tres posiciones resulte igual para las tres fases.

La figura muestra el ciclo de transposiciones a lo largo del recorrido de la línea. En la misma puede observarse que las fases salen y arriban al final del recorrido en la misma posición, lo cual nos obliga a realizar transposiciones en tres lugares. Una alternativa sería trasponer en dos lugares pero la salida y arribo de las fases sería en distinta ubicación.



Una ventaja adicional de la transposición es la no interferencia sobre otras líneas que pudieran correr paralelas a las líneas de energía.

Proyecto Final

Estudio de la planialtimetría

Tópico 10

1. Introducción

Se mencionó anteriormente como se realizaba el trazado de una línea de alta tensión que debe resultar lo más corta posible, atravesando la menor cantidad posible de obstáculos (buscando economizar en todo lo posible)

En base a la traza obtenida se prepara un plano del recorrido de la línea, con todos los obstáculos (cruces de río, FF.CC., rutas nacionales, provinciales, caminos, etc) y a la vez también el perfil del terreno a lo largo del recorrido, en un mismo plano y en distintas escalas se resumen la planialtimetría y la altimetría del recorrido de línea con todos los obstáculos que atraviesa, con el uso del teodolito y la mira.

Sobre el plano del Perfil del terreno se deben ubicar primeramente los soportes terminales, próximos a la estación transformadora, luego se ubican todas las estructuras especiales y finalmente en los espacios intermedios se distribuirán los soportes de suspensión, intercalando cada aproximadamente 3-3,3km una estructura de retención en recta.

Durante la mencionada distribución de soportes se debe tener, principalmente, en cuenta los siguientes criterios:

- El vano medio debe ser el establecido o el económico.
- La variedad de soportes debe ser la mínima posible.
- La diferencia entre vanos adyacentes no debe ser superior a un 10 %.

2. Distribución de las estructuras - Plantilla

Para ubicar las estructuras (sobre todo las de suspensión que representan la mayor cantidad en la línea)sobre la altimetría se solía preparar un celuloide (plantilla) de parábola máxima (actualmente y lo que hemos realizado es trazar la curva en el autocad y desplazar la plantilla sobre el plano). Correspondiente al vano promedio del tramo de retención considerado y teniendo presente la distancia libre reglamentada para la zona que atraviesa la línea, se calcula la altura del conductor inferior al terreno determinando el tipo de estructura en el tramo de retención, en el vano considerado a ambos lados. De allí surge si la estrtuctura es una S, S+1, S+2 o S-1.

Verificando la plantilla sobre el perfil del terreno sobre el cual se está estudiando el vano del tramo de retención se va utilizando a lo largo de la línea hasta completar el trazado.

Se debe recordar que en un tramo de retención no todos los vanos son iguales al vano económico, luego para cada tramo se debe calcular el vano medio de cálculo, es decir para cada tramo de retención debemos tener la correspondiente plantilla (de parábola máxima); no obstante y dado que las diferencias no son pronunciadas, es posible trabajar con una sola para toda la línea.

Puede ocurrir que cuando en la línea se encuentran vanos muy diferentes al vano promedio, o también vanos singulares con desniveles importantes entre los puntos de dos estructuras de suspensión o

suspensión y retención, se debe verigicar la cuerda del conductor para la condición atmosférica de menor temperatura utilizando otra plantilla, la de parábola mínima. Ésta se construye con la minima temperatura de la condición climática. Puesto que puede ocurrir que el poste inferior resulte traccionado por los conductores hacia arriba (tiro invertido), debiendo modificar en consecuencia la altura de la estructura inferior aumentándola o disminiuyendo la tensión mecánica del conductor o también modificando su ubicación del resto de los soportes.

3. Construcción de las plantillas

3.1. Parábola máxima

Se dibuja la parábola máxima en función de la ecuación:

$$Y = \frac{g.X^2}{p}$$

Donde, g es la carga específica (Kg/m.mm^2) y p es la tensión mecánica (Kg/mm^2)

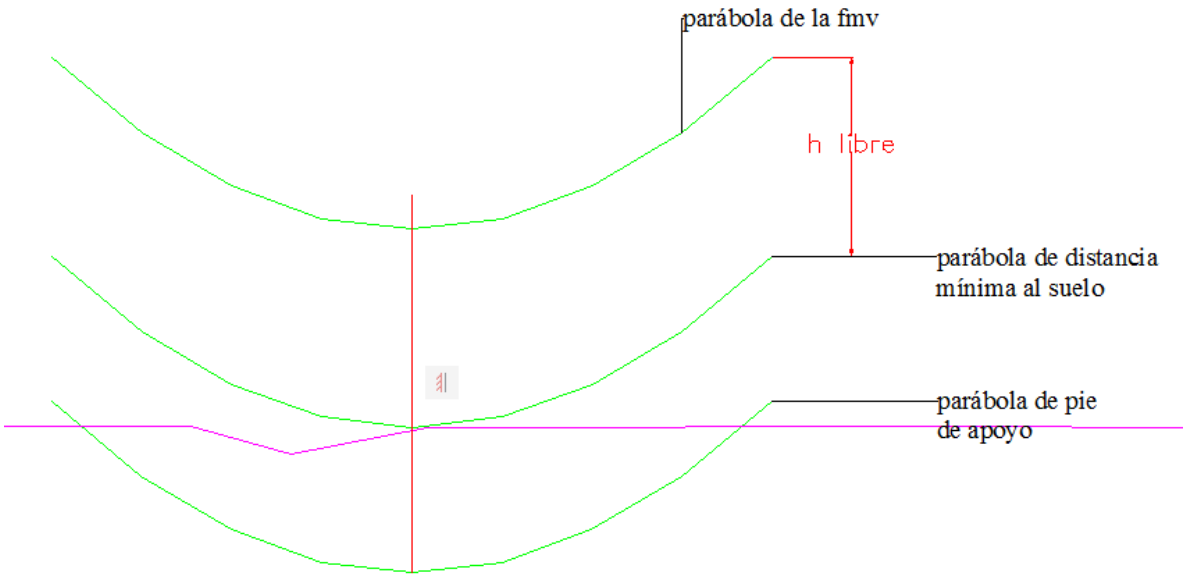
Para el cálculo de parábola máxima se debe utilizar la mínima tensión mecánica (flecha máxima) a la máxima temperatura.

De los datos calculados se tiene que: *g = 0,0035143 Kg/m.mm^2* y *p = 4,802 Kg/mm^2*

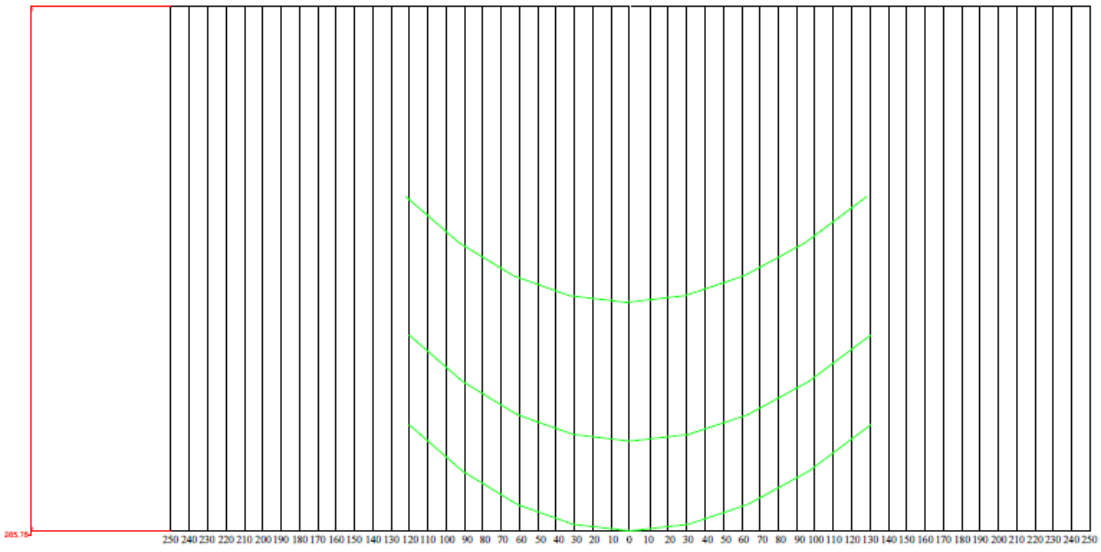
Entonces:

$$Y = \frac{g.X^2}{p} = 0{,}00007\ \frac{1}{m}\ .X^2$$

1) Se dibuja la parábola de flecha máxima vertical.
2) Se trazan las parábolas paralelas a ella.
    a. Una desplazada de ella a una distancia igual a la altura libre sobre el terreno.
    b. Otra desplazada sobre la anterior a una distancia igual a la flecha máxima vertical.



La plantilla que se utilizó es la siguiente:



El procedimiento de uso de la plantilla consiste en hacer tocar la parábola de la distancia mínima al terreno con el suelo, se mira donde la parábola de pié de apoyo corta al terreno y allí se ubican los postes.

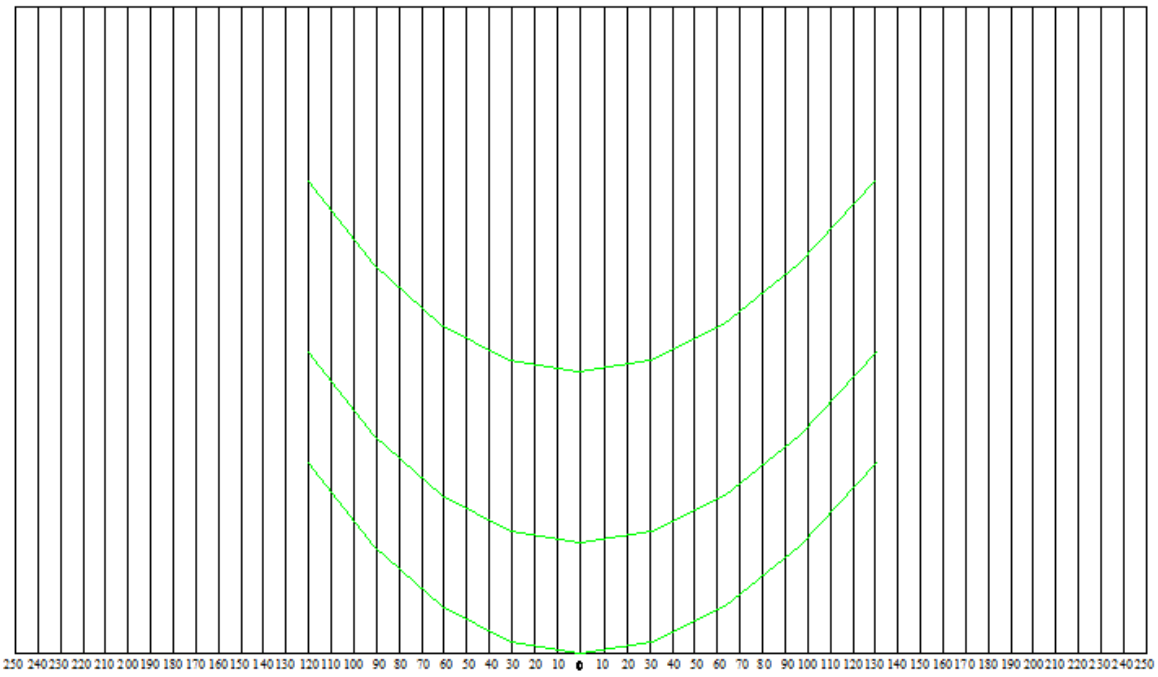
La parábola superior muestra el comportamiento del cable, indicando exactamente el punto de sujeción del cable sobre el poste determinando si éste es un soporte S, S+1, S+2 o lo que corresponda.

3.2. Parábola mínima

Se dibuja la parábola mínima en función de la ecuación anterior de parábola máxima, pero se debe utilizar la mínima tensión mecánica (flecha máxima) a la mínima temperatura.

De los datos calculados se tiene que: $g = 0{,}0035143\ Kg/m.mm^2$ y $p = 7{,}05 Kg/mm^2$

$$Y = \frac{g.X^2}{p} = 0{,}0005\ \frac{1}{m}\ .X^2$$



Ya ubicados los soportes en el perfil longitudinal de la línea, sirviéndose de la parábola máxima, es necesario comprobar cuales de aquellos podrán quedar sometidos a tiro vertical hacia arriba, al presentarse las condiciones de flecha mínima vertical. Esta es la razón por al que debe trazarse también la plantilla de flechas mínimas verticales o parábola mínima. Un apoyo sometido a una solicitación vertical hacia arriba tiende a ser arrancado de su cimentación.

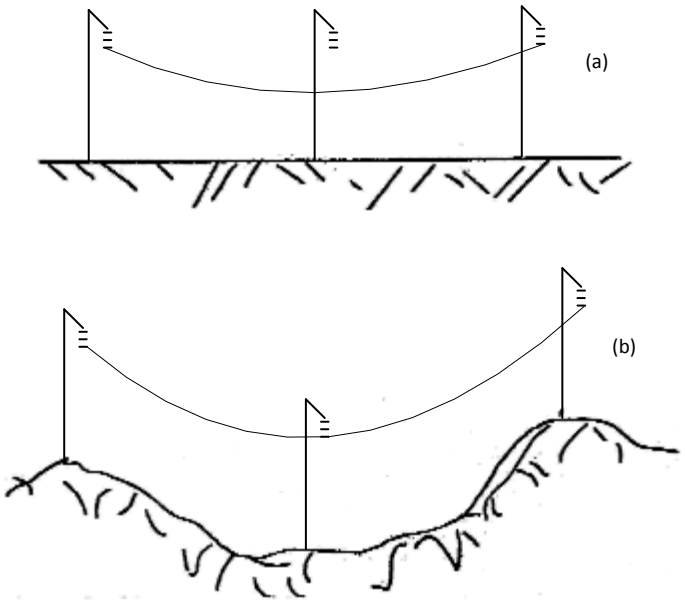
Claro es, que antes que esto suceda, las cadenas de suspensión quedarán dobladas, pudiendo llegar a alcanzar una posición tal, que los conductores se aproximen excesivamente al apoyo que los sustenta y en

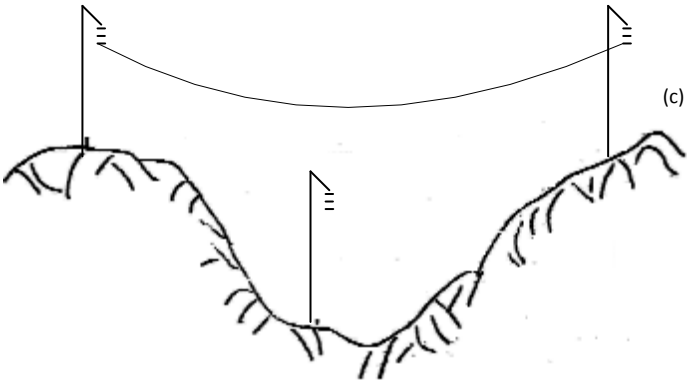
el caso de tratarse de aisladores rígidos estos se quiebran en el cuello donde están amarrados los conductos (ahorcamiento).

Para la determinación de la parábola mínima se calcula el valor del "doble vano mínimo". Esto es la suma mínima de dos vanos contiguos cualesquiera. La razón de tener que conocerlo es que así como la parábola máxima se pasa entre cada dos apoyos (un vano), la mínima hay que pasarla entre cada tres soportes (dos vanos), para comprobar si el soporte intermedio sufrirá o no tiro vertical hacia arriba.

Esta plantilla de la parábola mínima se emplea siempre entre cada tres apoyos (dos vanos), ya que su finalidad es la de comprobar si el apoyo intermedio podrá quedar o no sometido a un tiro vertical hacia arriba.

Si colocamos la curva de "pie de apoyos" de modo que pase por los pies de los apoyos extremos, la de fmin (parábola mínima) podrá, quedar en una de las tres posiciones, respecto al apoyo intermedio.





a) Por debajo de la cabeza del apoyo intermedio: no habrá tiro vertical hacia arriba en el apoyo intermedio. El cable ejerce acción de peso.
b) Sobre la cabeza de dicho apoyo: no habrá tiro vertical ni hacia arriba ni hacia abajo. El cable no ejerce acción de peso sobre el apoyo intermedio.
c) Por encima de la cabeza de dicho apoyo: habrá tiro vertical hacia arriba en el apoyo intermedio

Lo que llamado cabeza de apoyo es la cúspide del mismo sino la altura sobre el terreno en que la grapa de suspensión sujete al conductor.

Por esta razón, es necesario que en el perfil longitudinal, los apoyos sean dibujados en su verdadera magnitud escalar de altura, con un trazo que represente la existente desde el punto de engrampe del cable inferior al terreno. Falsearía toda comprobación si estos estuvieran con una altura arbitraria.

Ahora bien, en vez de hacer pasar la curva de flechas mínimas verticales por lo que hemos llamado cabeza de los apoyos, se la superponen a los pies extremos de los dos vanos contiguos, cuyo apoyo intermedio va a comprobarse si podrá tener o no tiro vertical hacia arriba.

Para anular el efecto del tiro vertical hacia arriba habrá que hacer una nueva distribución de apoyos de modo que se lo evite (lo que no siempre puede conseguirse) o bien habrá que dotar a los cables que puedan tener dichos tiro vertical hacia arriba con contrapeso o lastres que se colocan bajo los aisladores, que anulen a dicho tiro.

4. Consideraciones adicionales

De acuerdo a norma ***AEA 95.301***, TABLA 7.4-a- Distancias básicas "a" y ecuación 7.4-2.

$$D = a + 0{,}01\left(\frac{V_M}{\sqrt{3}} - 22\right)\ [m]$$

Donde "a" es la distancia que se saca de la tabla y V_M es la tensión de línea, se tomarán las siguientes distancias:

- La distancia minima establecida por norma a las vías del FF.CC. es 9,05m
- La distancia minima establecida por norma en el cruce con una línea de media tensión es 1,74m.

AA Y E, y anexos, solicitan una distancia a las vías del ferrocarril de 8 m, se considerará el peor de los escenarios.

Proyecto Final

Tabla de tendido

Tópico 11

1. Introducción

La tabla de tendido, se utiliza para el montaje de los conductores e hilo de guardia sobre las estructuras y ser verificadas las flechas, las tensiones mecánicas y tiros, para cada vano. Como suele ocurrir que los vanos sean distintos, la tabla de tendido se calcula para un vano medio, que se calcula para cada tramo de retención.

$$a_n = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}} \ [m]$$

La tabla de tendido se calcula considerando desde 0°C hasta la máxima de la condición climática (que será 45°C), calculando la tensión mecánica, tiro y flecha para cada temperatura, grado por grado. Para este cálculo se recomiendan tomar en cuenta sólo las tensiones debido al peso del conductor, esto se debe a que al momento se efectuar el montaje no se hará ni con viento, ni con manguito de hielo ni con temperaturas debajo del cero.
Para la construcción de la tabla de tendido se aplica la ecuación de cambio de estado considerando el estado básico como de referencia y calculando las tensiones y las flechas para cada temperatura desde 0°C hasta los 45°C, para luego calcular el tiro.

$$P^3 + AP^2 = B \Rightarrow P\left[\frac{kg}{m^2}\right]$$

Siendo los valores de A y B, los mismos que fueron usados para el cálculo mecánico del conductor.
Luego:

$$F = \frac{a^2 g}{8P} \Rightarrow F[m]$$

Finalmente:

$$T = P.S \Rightarrow T[kg]$$

Se harán las tablas correspondientes al tramo de retención estudiado en la planialtimetría. Y vano cruce del ferrocarril. Tanto del conductor como del hilo de guardia.
La medición de la flecha, se lleva a cabo midiendo la onda de retorno, esto consiste en golpear secamente el conductor con la mano o desde tierra con una soga a una distancia aproximada de un metro de la cadena de aisladores, con el fin de producir un impulso mecánico que viajará en forma de onda y se reflejará en la estructura alejada un vano del lugar donde se efectuó el golpe. Las sucesivas reflexiones continuarán hasta que la energía de la onda se disipe totalmente.
En el momento de producirse el golpe se cuenta cero y en ese instante se acciona un cronómetro,

se cuenta cada retorno hasta el décimo y en ese momento se lo detiene, por lo tanto se mide el tiempo empleado por la onda en recorrer diez veces ida y vuelta el vano seleccionado para efectuar la medición.

La ejecución de esta tarea no debe efectuarse con viento, tampoco en vanos donde la línea pueda tocar objetos extraños (por ejemplo ramas), es decir los conductores deben estar completamente libreas a efectos de no restringir el movimiento de la onda y además es conveniente realizar la medición en vanos donde halla soportes de suspensión porque los herrajes de las estructuras terminales o de retención tienden a modificar la onda.

La fórmula a emplear para determinar el tiempo de la décima onda de retorno en función de la flecha es la siguiente:

$$t = \sqrt{\frac{F}{0{,}306}}\ [seg]$$

2. Tabla de tendido conductor para el vano medio

Para el vano medio calculado ***a = 242,26 m*** se consideraran los siguientes valores:

-Coeficiente de dilatación lineal para todo el cable: 0,0000189 1/°C

-Módulo de elasticidad para todo el cable: 7700 kg/mm^2

-G/P del estado crítico: 0,00061

-Temperatura máxima en el estado crítico: 16°C

-Esfuerzo máximo en el estado crítico: 5,757 kg/mm^2

Utilizando la ecuación de resolución de ecuaciones cubicas considerando sólo la solución real:

$$x = -\frac{b}{3a} - \frac{2^{1/3}\,(-b^2+3ac)}{3a\left(-2b^3+9abc-27a^2d+\sqrt{4\,(-b^2+3ac)^3+(-2b^3+9abc-27a^2d)^2}\right)^{1/3}} + \frac{\left(-2b^3+9abc-27a^2d+\sqrt{4\,(-b^2+3ac)^3+(-2b^3+9abc-27a^2d)^2}\right)^{1/3}}{3\,2^{1/3}a}$$

Siendo la pinta de la ecuación cúbica a resolver la siguiente:

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$$

Para el caso en estudio a=1, b= A, c=0, d= -B

Siendo la tabla obtenida la siguiente:

Temperatura	P(kg/mm2)	T(kg)	F(m)	TIEMPO(seg)
0	6,486053555	2270,11874	3,9747965	36,04099201
1	6,442500357	2254,87512	4,0016673	36,16261067
2	6,398259117	2239,39069	4,02933712	36,28741983
3	6,353317504	2223,66113	4,05783954	36,41553725
4	6,307663269	2207,68214	4,08720978	36,54708565
5	6,261284223	2191,44948	4,11748486	36,68219305
6	6,21416823	2174,95888	4,14870374	36,82099315
7	6,166303187	2158,20612	4,18090746	36,96362573
8	6,117677012	2141,18695	4,21413928	37,11023711
9	6,068277628	2123,89717	4,24844487	37,26098064
10	6,018092947	2106,33253	4,28387252	37,41601715
11	5,96711086	2088,4888	4,32047327	37,57551557
12	5,915319212	2070,36172	4,35830123	37,73965351
13	5,862705796	2051,94703	4,39741373	37,90861791
14	5,809258334	2033,24042	4,43787167	38,08260573
15	5,754964459	2014,23756	4,47973974	38,26182477
16	5,699811703	1994,9341	4,52308678	38,44649446
17	5,643787478	1975,32562	4,56798614	38,63684678
18	5,586879061	1955,40767	4,61451603	38,83312728
19	5,52907358	1935,17575	4,66275997	39,03559619
20	5,470357992	1914,6253	4,71280728	39,24452954
21	5,410719073	1893,75168	4,76475356	39,46022058
22	5,350143394	1872,55019	4,81870131	39,68298112
23	5,28861731	1851,01606	4,87476054	39,91314321
24	5,22612694	1829,14443	4,93304952	40,15106083
25	5,162658148	1806,93035	4,99369554	40,39711188
26	5,098196527	1784,36878	5,05683585	40,65170029
27	5,032727381	1761,45458	5,12261862	40,91525843
28	4,966235705	1738,1825	5,19120407	41,18824975
29	4,898706167	1714,54716	5,26276574	41,47117173
30	4,83012309	1690,54308	5,33749192	41,76455922
31	4,760470432	1666,16465	5,41558725	42,06898805
32	4,689731765	1641,40612	5,49727453	42,38507927
33	4,617890259	1616,26159	5,58279681	42,71350373
34	4,544928656	1590,72503	5,67241973	43,05498738
35	4,470829257	1564,79024	5,76643426	43,4103172
36	4,395573896	1538,45086	5,86515973	43,78034793
37	4,319143923	1511,70037	5,96894742	44,1660097
38	4,241520181	1484,53206	6,07818468	44,5683168
39	4,162682989	1456,93905	6,19329962	44,98837767
40	4,082612116	1428,91424	6,31476669	45,42740631
41	4,001286768	1400,45037	6,44311305	45,88673555
42	3,918685564	1371,53995	6,57892616	46,36783229
43	3,834786517	1342,17528	6,72286263	46,87231521
44	3,749567019	1312,34846	6,87565867	47,40197547
45	3,663003821	1282,05134	7,03814253	47,95880085

3. Tabla de tendido conductor para el vano cruce del ferrocarril

Para el vano medio calculado ***a = 110 m*** y teniendo en cuenta las mismas consideraciones los resultados obtenidos son los siguientes:

Temperatura	P(kg/mm2)	T(kg)	F(m)	TIEMPO(seg)
0	5,177799446	1812,22981	1,02656683	18,31609551
1	5,14148537	1799,51988	1,03381742	18,38066458
2	5,105961413	1787,08649	1,04101005	18,4444941
3	5,071202316	1774,92081	1,04814535	18,50759739
4	5,037179302	1763,01276	1,05522492	18,56999586
5	5,003860106	1751,35104	1,06225135	18,63171928
6	4,971209042	1739,92316	1,06922825	18,69280601
7	4,939187111	1728,71549	1,07616031	18,75330308
8	4,907752146	1717,71325	1,0830533	18,81326622
9	4,876858985	1706,90064	1,08991405	18,87275982
10	4,846459687	1696,26089	1,09675051	18,93185675
11	4,816503765	1685,77632	1,10357168	18,9906382
12	4,786938458	1675,42846	1,11038761	19,04919335
13	4,757709007	1665,19815	1,11720938	19,10761904
14	4,728758951	1655,06563	1,12404908	19,16601942
15	4,700030442	1645,01065	1,13091973	19,22450546
16	4,671464541	1635,01259	1,13783528	19,28319458
17	4,643001532	1625,05054	1,14481055	19,34221019
18	4,61458122	1615,10343	1,15186122	19,40168123
19	4,58614321	1605,15012	1,15900374	19,46174178
20	4,557627183	1595,16951	1,16625536	19,52253066
21	4,528973145	1585,1406	1,17363406	19,58419114
22	4,50012165	1575,04258	1,18115855	19,64687061
23	4,471014005	1564,8549	1,18884824	19,71072037
24	4,441592447	1554,55736	1,19672329	19,77589552
25	4,411800293	1544,1301	1,20480457	19,84255485
26	4,381582061	1533,55372	1,21311368	19,91086084
27	4,350883574	1522,80925	1,22167304	19,98097981
28	4,319652023	1511,87821	1,23050586	20,05308204
29	4,287836024	1500,74261	1,23963629	20,12734207
30	4,255385642	1489,38497	1,24908941	20,20393906
31	4,222252396	1477,78834	1,25889138	20,28305725
32	4,188389244	1465,93624	1,26906952	20,36488651
33	4,153750557	1453,8127	1,27965247	20,44962299
34	4,118292075	1441,40223	1,29067027	20,5374699
35	4,081970843	1428,6898	1,30215461	20,62863838
36	4,044745148	1415,6608	1,31413895	20,72334851
37	4,006574436	1402,30105	1,32665878	20,82183037
38	3,967419227	1388,59673	1,33975182	20,92432539
39	3,927241018	1374,53436	1,35345835	21,0310877
40	3,886002184	1360,10076	1,36782145	21,14238572
41	3,843665872	1345,28306	1,38288741	21,25850395
42	3,800195891	1330,06856	1,39870609	21,37974495
43	3,755556603	1314,44481	1,41533139	21,50643154
44	3,709712801	1298,39948	1,43282174	21,63890935
45	3,662629597	1281,92036	1,4512407	21,77754961

4. Tabla de tendido hilo de guardia para el vano medio

Para el vano medio calculado ***a = 242,26 m*** se consideraran los siguientes valores:

-Coeficiente de dilatación lineal para el acero: 0,00001 1/°C

-Módulo de elasticidad para el acero: 18000 kg/mm^2

-G/P para el estado en estudio: 0,00022

-Temperatura máxima en el estado crítico: -10°C

-Esfuerzo máximo tomado: 30 kg/mm^2

Siendo la tabla obtenida la siguiente:

Temperatura	P(kg/mm2)	T(kg)	F(m)	TIEMPO(seg)
0	15,49289496	5422,51324	1,66403652	23,31957941
1	15,41690074	5395,91526	1,67223902	23,37698312
2	15,34123182	5369,43114	1,68048715	23,43456439
3	15,26589408	5343,06293	1,68878042	23,49231844
4	15,19089351	5316,81273	1,69711827	23,55024023
5	15,11623618	5290,68266	1,70550014	23,60832455
6	15,04192822	5264,67488	1,71392541	23,66656593
7	14,96797584	5238,79155	1,72239341	23,72495867
8	14,89438535	5213,03487	1,73090345	23,78349685
9	14,82116308	5187,40708	1,73945478	23,84217429
10	14,74831548	5161,91042	1,74804662	23,90098459
11	14,67584903	5136,54716	1,75667813	23,9599211
12	14,6037703	5111,31961	1,76534843	24,01897691
13	14,53208589	5086,23006	1,77405661	24,07814489
14	14,46080246	5061,28086	1,78280168	24,13741762
15	14,38992673	5036,47436	1,79158264	24,19678748
16	14,31946546	5011,81291	1,80039842	24,25624655
17	14,24942543	4987,2989	1,8092479	24,31578669
18	14,17981348	4962,93472	1,81812991	24,37539951
19	14,11063643	4938,72275	1,82704325	24,43507635
20	14,04190118	4914,66541	1,83598664	24,49480832
21	13,97361457	4890,7651	1,84495879	24,55458629
22	13,9057835	4867,02422	1,85395832	24,61440089
23	13,83841482	4843,44519	1,86298383	24,67424251
24	13,77151539	4820,03039	1,87203385	24,73410132
25	13,70509203	4796,78221	1,88110689	24,79396725
26	13,63915153	4773,70303	1,89020138	24,85383005
27	13,5737006	4750,79521	1,89931572	24,91367924
28	13,50874594	4728,06108	1,90844828	24,97350415
29	13,44429412	4705,50294	1,91759736	25,03329394
30	13,38035168	4683,12309	1,92676124	25,0930376
31	13,31692499	4660,92375	1,93593814	25,15272396
32	13,25402037	4638,90713	1,94512625	25,2123417
33	13,19164396	4617,07539	1,95432374	25,27187942
34	13,12980177	4595,43062	1,96352873	25,33132557
35	13,06849964	4573,97487	1,97273931	25,39066855
36	13,00774323	4552,71013	1,98195356	25,44989669
37	12,94753798	4531,63829	1,99116952	25,50899828
38	12,88788914	4510,7612	2,00038522	25,56796161
39	12,82880169	4490,08059	2,00959868	25,62677498
40	12,77028037	4469,59813	2,01880791	25,68542673
41	12,71232961	4449,31536	2,0280109	25,74390529
42	12,65495357	4429,23375	2,03720566	25,80219917
43	12,59815606	4409,35462	2,04639019	25,86029706
44	12,54194056	4389,6792	2,05556252	25,91818779
45	12,48631017	4370,20856	2,06472069	25,97586042

5. Tabla de tendido hilo de guardia para el vano cruce del ferrocarril

Para el vano medio calculado ***a = 110 m*** y teniendo en cuenta las mismas consideraciones los resultados obtenidos son los siguientes:

Temperatura	P(kg/mm2)	T(kg)	F(m)	TIEMPO(seg)
0	15,08643993	5280,25397	0,3523268	10,73030652
1	14,99473138	5248,15598	0,35448165	10,76307005
2	14,90309987	5216,08495	0,35666118	10,79610765
3	14,8115473	5184,04156	0,35886576	10,82942248
4	14,72007567	5152,02649	0,36109578	10,86301779
5	14,62868701	5120,04045	0,36335162	10,8968968
6	14,53738342	5088,0842	0,36563369	10,9310628
7	14,44616707	5056,15847	0,36794238	10,96551909
8	14,35504018	5024,26406	0,37027811	11,00026901
9	14,26400506	4992,40177	0,37264128	11,0353159
10	14,17306409	4960,57243	0,37503232	11,07066315
11	14,08221972	4928,7769	0,37745166	11,10631416
12	13,99147446	4897,01606	0,37989971	11,14227236
13	13,90083093	4865,29083	0,38237694	11,17854119
14	13,81029182	4833,60214	0,38488377	11,21512412
15	13,71985989	4801,95096	0,38742066	11,25202462
16	13,62953802	4770,33831	0,38998806	11,28924619
17	13,53932916	4738,76521	0,39258645	11,32679234
18	13,44923636	4707,23273	0,39521628	11,36466658
19	13,35926278	4675,74197	0,39787803	11,40287243
20	13,26941166	4644,29408	0,40057218	11,44141341
21	13,17968637	4612,89023	0,40329921	11,48029305
22	13,09009037	4581,53163	0,40605962	11,51951486
23	13,00062726	4550,21954	0,4088539	11,55908237
24	12,91130074	4518,95526	0,41168254	11,59899906
25	12,82211464	4487,74012	0,41454606	11,63926843
26	12,73307291	4456,57552	0,41744496	11,67989394
27	12,64417963	4425,46287	0,42037976	11,72087902
28	12,55543905	4394,40367	0,42335096	11,76222709
29	12,46685552	4363,39943	0,42635909	11,80394151
30	12,37843355	4332,45174	0,42940467	11,84602561
31	12,29017783	4301,56224	0,43248822	11,88848266
32	12,20209317	4270,73261	0,43561027	11,93131587
33	12,11418458	4239,9646	0,43877135	11,97452841
34	12,02645721	4209,26002	0,44197198	12,01812334
35	11,9389164	4178,62074	0,44521269	12,06210366
36	11,85156769	4148,04869	0,44849401	12,10647226
37	11,76441679	4117,54587	0,45181646	12,15123195
38	11,6774696	4087,11436	0,45518056	12,1963854
39	11,59073225	4056,75629	0,45858683	12,24193517
40	11,50421107	4026,47387	0,46203578	12,28788368
41	11,4179126	3996,26941	0,46552792	12,33423319
42	11,33184362	3966,14527	0,46906376	12,38098581
43	11,24601114	3936,1039	0,47264377	12,42814345
44	11,16042242	3906,14785	0,47626845	12,47570783
45	11,07508496	3876,27974	0,47993827	12,52368047

Proyecto Final

Estudio de vibraciones y selección de amortiguadores

Tópico 12

1. Introducción

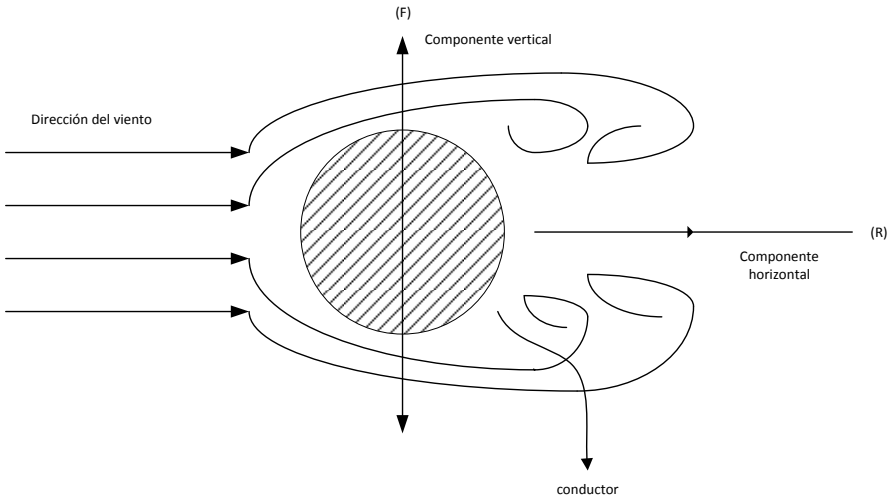
Los conductores y cables de guardia de las líneas de transmisión están expuestos al viento y sus características ayudan a que se produzcan vibraciones debido al desprendimiento de vórtices, comúnmente conocido como vibraciones eólicas.

El problema radica en la posible falla de los alambres del conductor en los alrededores de las grapas o, en general, en los puntos de conexión del conductor con otros componentes de la línea.

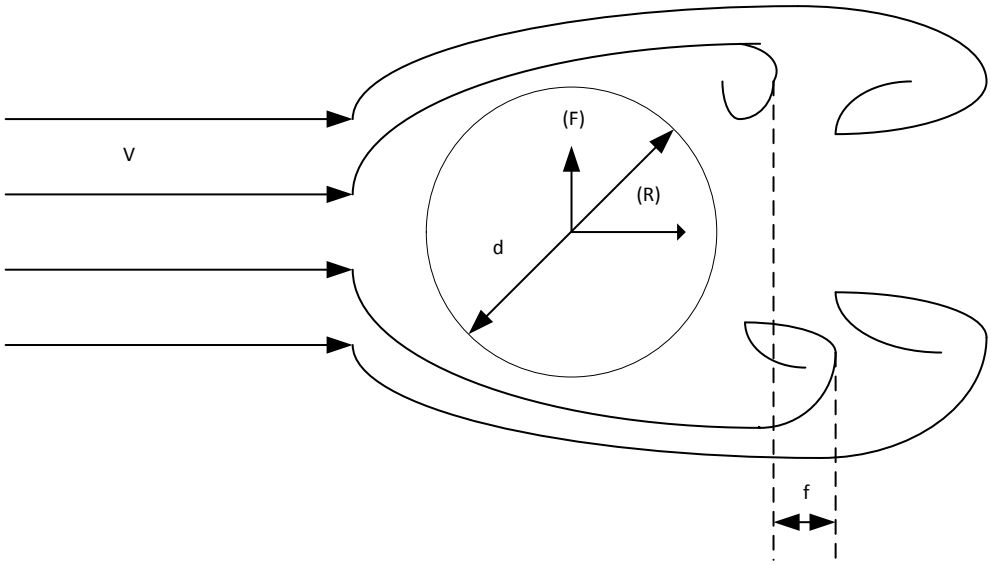
Pese a que la falla de algunos alambres no afecta en forma inmediata el transporte de potencia de la línea, puede requerir reparaciones costosas e interrupciones del servicio. No obstante, el mayor inconveniente radica en el comienzo de una degradación generalizada de los conductores.

2. Vibraciones

Las vibraciones eólicas resultan de torbellinos que se forman en los lados alternados del conductor debido al flujo transversal del viento.
Se observa que al sobrepasar la superficie del conductor, el viento produce depresiones y en consecuencia una turbulencia que lo hace mover verticalmente. La formación alternada de estos torbellinos en los lados superior e inferior del conductor, hace que el aire fluya más rápidamente, primero alrededor de un lado del conductor y luego alrededor del otro, estos aumentos intermitentes del flujo del viento, están acompañados por disminuciones de presión, que como consecuencia producen fuerzas alternadas hacia arriba y hacia abajo sobre el conductor, ocurriendo así la oscilación.



Ampliando las fuerzas anteriores y considerando al conductor como un cilindro sumergido en un fluido viscoso tenemos:



f = frecuencia de formacíon de torbellinos

$$f = \frac{s_t . v}{d}$$

v = velocidad del viento (m/seg)
d = diámetro del cilindro (conductor) (m)
s_t = numero de strouhal (entre 0,18 y 0,27)

Establecido que las frecuencias de estas fuerzas pueden corresponder a alguna frecuencia natural o resonante del conductor, la amplitud de la vibración crecerá, eso si la fuerza que la induce continúa a la misma frecuencia. No ocurrirá a menos que el viento sea estable.

La experiencia indica que los vientos cuya velocidad sea inferior a 3,2 km/h, no transmiten suficiente energía a los conductores como para que sean causas de fallas; mientras que aquellos cuyas velocidades sean superiores a 24 km/h son generalmente en forma de ráfagas. Su velocidad varía y las vibraciones a cualquier frecuencia no se sostienen suficiente tiempo como para acrecentar las amplitudes resonantes a niveles peligrosos.

Por ello los conductores tienden a vibrar, pero no debido a vientos fuertes, sino a los moderados entre 5 y 20 km/h, produciendo en los puntos de fijación del conductor a la grapa esfuerzos adicionales alternativos de flexión.

Cuando se da el movimiento alternativo mencionado anteriormente, es decir cuando entra en resonancia, el movimiento del conductor se parece a una onda estacionaria con frecuencia y longitud definida. Al tratarse de una onda estacionaria entonces, nos encontramos con que aparecen nodos y antinodos.
Este fenómeno causa que se produzca un desgaste del conductor y su eventual rotura por fatiga a la altura de la grapa por tratarse de un nodo.

Para evitar esto se proponen una serie de soluciones:

1) Reducir la tensión mecánica del conductor, esto se logra mediante el aumento de la flecha, consecuentemente se eleva la altura de los soportes, aumenta el tiro en la cima, lo que requiere estructuras de hormigón más grandes lo que repercute directamente en los costos de instalación y montaje.

2) Reforzar el conductor en el punto de sujeción de la grapa de suspensión, esto mediante la colocación de un conjunto de varillas preformadas que suelen tener 1,2 m de longitud, construidas en aleación de aluminio. Se van colocando todas las varillas en toda la circunferencia del conductor y luego se coloca la grapa. Estas varillas aumentan la resistencia del conductor y al mismo tiempo amortiguan, modificando el sistema vibrante.

3) Dispositivos antivibratorios. Colocación de amortiguadores tipo stockbridge. Para que este método sea efectivo, deben localizarse en forma tal que la energía cinética del conductor provoque el movimiento del contrapeso y flexión de las guías del amortiguador, de esa manera se evita que las vibraciones resonantes alcancen amplitudes de niveles perjudiciales y la energía disipada permanece pequeña.
   Los amortiguadores son dispositivos disipadores de energía, están constituidos por dos contrapesos de igual masa, por lo general de zinc y unidos entre sí por un cable de acero, que hace las veces de elemento elástico de cierta rigidez, esto va acompañado por un morseto que permite fijarlo al conductor.
   Es importante calcular el posicionamiento de los amortiguadores.

De estas opciones, la más ventajosa para el caso en estudio es la elección de amortiguadores.

Posicionamiento de los amortiguadores

Considerando la ecuación anterior y tomando un número de Strouhal de 0,185.

$$f = 51{,}5\ \frac{v}{d}$$

Luego sabiendo que la ecuación de ondas estacionarias es

$$f_n = \frac{n.v}{2L}$$

Donde f_n es la frecuencia en el modo n; v la velocidad y L la longitud de la semionda.

Para el caso en estudio el modo siempre es el 1, por lo tanto:

$$f = \frac{v}{2L}$$

Como $v = \sqrt{\frac{P.g}{w}}$, donde g es la fuerza de la gravedad, P la tensión mecánica (a temperatura media anua) y w el peso del conductor.

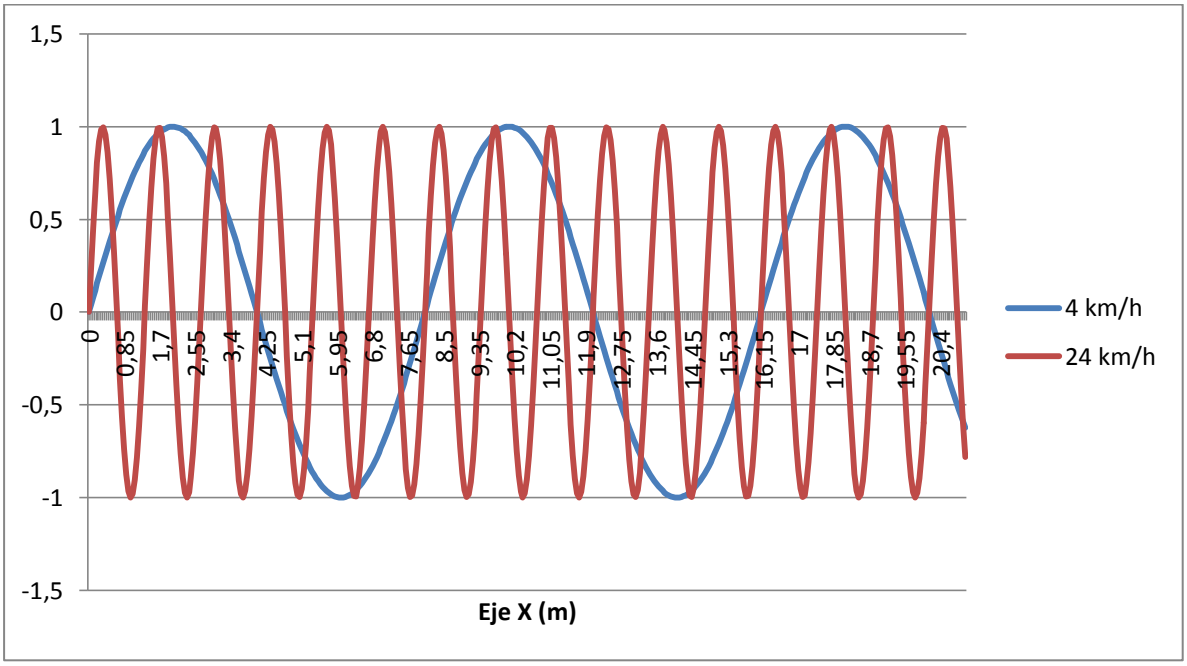
Despejando

$$(2Lf)^2 = \frac{P.g}{w}$$

Luego con la ecuación original de la frecuencia, se tiene que:

$$L = 0.03\,\frac{d}{v}.\sqrt{\frac{P}{w}}$$

Si consideráramos sacarle una fotografía en un instante t, determinado a dos ondas estacionarias producidas por un viento de 4 km/h y 24 km/h (de misma amplitud) se obtendría un gráfico como el siguiente:



Se observa que dentro de la onda de 4 km/h, entran varios ciclos de la onda de 24 km/h.
Finalmente se verifica que con ondas correspondientes a velocidades del viento entre 4 y 24 km/h se podrá notar que colocando el amortiguador a aproximadamente 0,8 de la longitud de la semionda, más corta desde el punto de reflexión, significa que el amortiguador no es nodo para ninguna onda correspondiente a estas velocidades del viento estables.
Por lo tanto

$$Ds = 0{,}8\,L_{24} = 0{,}001\,d\,\sqrt{\frac{P}{w}}\quad [m]$$

Si además se le colocan varillas

$$Ds' = 0{,}9\,.DS$$

En caso de necesitarse más amortiguadores, se pondrán luego de estudiar la línea ya montada.

3. Selección de amortiguadores

Velocidad del viento(km/h)	Velocidad del viento (m/seg)	Longitud de la semionda (m)	Ds (m)
4	1,11	4,03	3,22
5	1,39	3,22	2,58
6	1,67	2,68	2,15
7	1,94	2,30	1,84
8	2,22	2,01	1,61
9	2,50	1,79	1,43
10	2,78	1,61	1,29
11	3,06	1,46	1,17
12	3,33	1,34	1,07
13	3,61	1,24	0,99
14	3,89	1,15	0,92
15	4,17	1,07	0,86
16	4,44	1,01	0,81
17	4,72	0,95	0,76
18	5,00	0,89	0,72
19	5,28	0,85	0,68
20	5,56	0,81	0,64
21	5,83	0,77	0,61
22	6,11	0,73	0,59
23	6,39	0,70	0,56
24	6,67	0,67	0,54

Los amortiguadores serán colocados a 0,54 m de las grapas de sujeción.
Los elegidos son marca DYNALAB VDA 26.