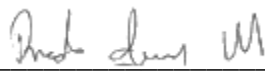
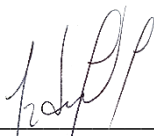


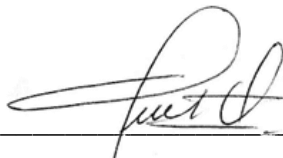
<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

Elaborado por: 

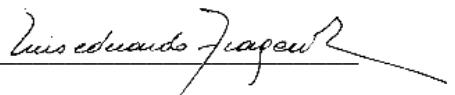
**RICARDO ECHEVERRI MARTÍNEZ**  
Ingeniero Electricista

Revisado por: 

**JULIÁN DAVID GUERRERO CASTILLO**  
Ingeniero de Proyectos

Aprobado por: 

**CLAUDIA PATRICIA ORTIZ CALVO**  
Gerente de Diseños

Aprobado por: 

**LUIS EDUARDO ARAGÓN RANGEL**  
Gerente General

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

### CONTROL DEL DOCUMENTO

REVISIONES			
Rev.	Sección Modificada	Fecha (dd/mm/aaaa)	Descripción
01	-	13/02/2014	Versión Original
02	General	01/03/2021	Revisión y ajustes

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

## TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVO.....	5
2	ALCANCE.....	5
3	RESPONSABILIDAD .....	5
4	DEFINICIONES.....	5
4.1	INGENIERÍA PRELIMINAR.....	5
4.2	INGENIERÍA BÁSICA.....	6
4.3	INGENIERÍA DE DETALLE.....	6
4.4	CONTRATANTE - CLIENTE .....	6
4.5	PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT).....	7
4.6	AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA (ANI).....	7
4.7	NIVELES DE TENSIÓN .....	7
4.8	LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	7
4.9	LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.....	7
5	CONDICIONES GENERALES.....	7
6	DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO .....	8
6.1	OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN .....	8
6.1.1	Reuniones con personal contratante.....	8
6.1.2	Información pertinente al proyecto .....	8
6.1.3	Visita de reconocimiento .....	9
6.1.4	Estudios de sistemas de potencia.....	9
6.1.5	Actividades o estudios subcontratados.....	9
6.2	NORMAS APLICABLES TEXTOS DE REFERENCIA Y OTROS .....	10
6.3	SOFTWARE PARA DISEÑO .....	10
6.4	CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO .....	11
6.4.1	Selección de ruta.....	11
6.4.2	Parámetros ambientales .....	12
6.4.3	Zona de servidumbre.....	12
6.4.4	Distancias de seguridad .....	13
6.4.5	Configuración de los apoyos .....	13
6.4.6	Selección del conductor de fase .....	14
6.4.7	Selección del cable de guarda .....	16
6.4.8	Selección de aisladores .....	17
6.4.9	Apantallamiento.....	18

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

6.4.10	Cálculo mecánico de conductores .....	20
6.4.11	Curvas características de los cables.....	28
6.4.12	Árboles de carga .....	28
6.4.13	Factores de mayoración .....	28
6.4.14	Criterios aplicados para el sistema de puesta a tierra .....	29
6.4.15	Placas de señalización e identificación.....	30
6.4.16	DISEÑO CIVIL.....	30
7	CONTROL DEL DISEÑO .....	31
8	REGISTROS .....	32

## TABLAS

Tabla 1.	Responsabilidades en el diseño de líneas.....	5
Tabla 2.	Parámetros ambientales .....	12
Tabla 3.	Factores de mayoración.....	28

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

## 1 OBJETIVO

Describir las actividades y los controles comprendidos en el diseño de líneas eléctricas de distribución y transmisión con el fin de asegurar la calidad y confiabilidad de los resultados.

## 2 ALCANCE

Este procedimiento aplica a los servicios de diseño de líneas eléctricas aéreas de distribución y transmisión en Baja, Media, Alta y Extra Alta Tensión que se lleven a cabo en **GERS S.A.S.**

## 3 RESPONSABILIDAD

Los responsables de las actividades a realizar dentro de los proyectos de diseño de líneas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Responsabilidades en el diseño de líneas

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>RESPONSABLE</b>
Recolección de información inicial	Ingeniero responsable del proyecto
Diseños civiles	Ingeniero Civil
Diseños electromecánicos	Ingeniero electricista asignado al diseño
Revisión de diseños	Ingeniero del departamento que reúna las competencias e idoneidad para la revisión del diseño
Revisión informes parciales e informe final	Ingeniero del departamento que reúna las competencias e idoneidad

## 4 DEFINICIONES

### 4.1 INGENIERÍA PRELIMINAR

Ingeniería que define un marco conceptual del proyecto con el fin de hacer recomendaciones al cliente y presupuestar opciones. El diseño o Ingeniería preliminar abarca solamente aspectos fundamentales que inciden sobre la viabilidad del proyecto, ofreciendo como resultado aspectos técnicos y económicos para el desarrollo de la Ingeniería Básica.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

#### 4.2 INGENIERÍA BÁSICA

Ingeniería que define una filosofía y generalidades de los requerimientos de componentes de la línea incluyendo especificaciones técnicas y memorias de cálculo. Incluye conceptos, criterios y metodología para llevar a cabo el proyecto. Como resultado se obtienen los pliegos y planos para licitar la obra, y documentos generados que se utilizarán como entrada para la ingeniería de detalle.

#### 4.3 INGENIERÍA DE DETALLE

Es la ingeniería que sirve de base para la construcción y montaje de la obra. Incluye la identificación y definición de los siguientes aspectos:

- Características técnicas de los componentes (cables, aisladores, grapas, herrajes y apoyos) adquiridos por la entidad contratante.
- Soporte durante el proceso de negociación de servidumbres en caso de ser requerido.
- Ubicación detallada de los apoyos
- Ajuste de tablas de tendido y verificación
- Los siguientes entregables relacionados se ejecutan siempre y cuando sean contratados por el cliente:
  - Estudio impacto ambiental, con el que se usa de referencia para la presentación a las entidades ambientales competentes; los tramites, gestiones o solicitudes de permisos son responsabilidad del cliente.
  - Gestión predial, donde se estipularía parámetros conforme a los lineamientos de técnicos del diseño de la línea, que permitan la futura negociación de servidumbre con los propietarios.
  - Trámite ante entidades ambientales y municipales (POT y ANI), en los casos que sea contratado para el proyecto, el cliente deberá proveer documentos pertinentes como autorizaciones o poderes para tal fin.
  - Planos As-built electromecánico y civil, en los casos que sea contratada esta actividad.

#### 4.4 CONTRATANTE - CLIENTE

Es el cliente, la empresa que contrata los diseños.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

#### 4.5 PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT)

El Plan de Ordenamiento Territorial es el instrumento básico para desarrollar el proceso de ordenamiento del territorio municipal o distrital, entendido como el conjunto de directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas que deben adoptar cada municipio para orientar y administrar el desarrollo físico de su territorio y la utilización del suelo.

#### 4.6 AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA (ANI)

Entidad encargada de la estructuración, adjudicación y gestión de las concesiones en el sector transporte en Colombia.

#### 4.7 NIVELES DE TENSIÓN

- **Baja tensión (BT):** Mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1kV.
- **Media tensión (MT):** Superior a 1kV e inferior a 57,5 kV.
- **Alta tensión (AT):** Mayor o igual a 57,5 kV y menor o igual a 230 kV.
- **Extra alta tensión (EAT):** Superior a 230 kV.

#### 4.8 LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Conjunto de aparatos y circuitos asociados para el transporte de la energía eléctrica cuyas tensiones sean iguales o superiores a 25 V y menores a 57,5 kV, denominadas como líneas eléctricas de baja y media tensión.

#### 4.9 LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Conjunto de aparatos y circuitos asociados para el transporte de la energía eléctrica cuyas tensiones sean iguales o mayores a 57,5 kV, denominadas como líneas eléctricas de alta y extra alta tensión.

### 5 CONDICIONES GENERALES

- El alcance de la ingeniería depende de los requerimientos definidos por el cliente para la ejecución del proyecto.
- Los estudios del sistema de potencia o contrato de conexión si existe, son información de entrada para el diseño de la línea.
- Una vez concluidos los diseños ya sean de básica o de detalle, se elaboran las diferentes especificaciones necesarias para las licitaciones de componentes nacionales e importados, las obras civiles y el montaje de las líneas. Estas

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

especificaciones son sometidas a la aprobación del contratante, igualmente se elaboran presupuestos y especificaciones para la licitación.

## 6 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

### 6.1 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

Esta etapa permite conocer las necesidades reales del cliente y del proyecto. Como fuentes para obtener esta información están:

#### 6.1.1 Reuniones con personal contratante

Esta actividad se lleva a cabo entre personal de **GERS** asignado al proyecto y funcionarios asignados por el contratante directamente relacionados con él. Durante estas reuniones se presentan al cliente experiencias obtenidas en el diseño de otros proyectos, se definen posibles rutas de línea y se consideran las necesidades y requerimientos del proyecto en particular informadas por el Cliente, para la ejecución de los diseños.

#### 6.1.2 Información pertinente al proyecto

- Organigrama de manejo del proyecto por parte de la Entidad Contratante.
- Mapas geográficos, topográficos y viales.
- Información meteorológica, principalmente en lo concerniente a condiciones de temperatura, lluvias, dirección y velocidad de los vientos, niveles ceráunicos, presión atmosférica, radiación solar, humedad relativa.
- Estudios sismológicos, si existen.
- Información cartográfica y ortofotografía que cubra las posibles rutas de línea teniendo en cuenta los puntos geodésicos de referencia.
- Normas y regulaciones de entidades locales que afecten la construcción de la línea.
- Normas y recomendaciones aplicables.

Parte de esta información puede estar disponible y provisionada por el contratante.



<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

### 6.1.3 Visita de reconocimiento

Una actividad importante que hace parte de la recolección de información es la visita de reconocimiento al sitio del proyecto. Esta actividad se lleva a cabo tanto para proyectos nuevos como para existentes.

Durante esta visita se observan los siguientes detalles:

- Registro fotográfico de punto de salida, posibles rutas de línea y punto de llegada
- Cruces de vías, líneas eléctricas, edificaciones y demás obstáculos dentro de la zona de servidumbre.
- Menor afectación ambiental, considerando cauces de ríos, zonas cultivables, reservas naturales, etc.
- Posible ruta con menores afectaciones prediales que facilite las futuras negociaciones con los propietarios de los predios.

A esta visita de reconocimiento asisten personal de la empresa contratante e ingenieros y auxiliares de ingeniería de **GERS** asignados para el proyecto.

### 6.1.4 Estudios de sistemas de potencia

Los estudios requeridos para el diseño de la línea son:

- Flujos de carga en condiciones normales o de contingencia
- Cortocircuito a frecuencia industrial
- Sobretensiones

### 6.1.5 Actividades o estudios subcontratados

Para los casos que el cliente lo solicite como parte de lo contratado actividades especiales relacionadas:

- Suelos.
- Plan de manejo o estudio de Impacto ambiental.
- Topografía.
- Estudio predial.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

**GERS** cuenta con la potestad de subcontratar con firmas especializadas en el ramo y debidamente aprobadas conforme a las competencias según sea el caso.

Estas subcontrataciones se hacen teniendo en cuenta el procedimiento para evaluación de subcontratistas en servicios especializados, PR-006 y Manual de contratistas.

## **6.2 NORMAS APLICABLES TEXTOS DE REFERENCIA Y OTROS**

**GERS** adelantará las tareas del diseño de la línea, cumpliendo con las recomendaciones de las siguientes normas aplicables vigentes a la fecha:

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE
- Código de redes Resolución CREG 025 de 1995 o vigente.
- Norma técnica colombiana Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos) NTC 4552-1-2-3.
- National Electrical Safety Code, NESC.
- International Standard IEC 60071-2.
- Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10.
- IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- NFPA, National FIRE Protection Association.
- ACI, American Concrete Institute, “Building Code Requirements for structural concrete”.
- Bulletin 1724E-200 Design Manual for High Voltage Transmission Lines.

## **6.3 SOFTWARE PARA DISEÑO**

Como soporte de las actividades de diseño de líneas se emplearan los siguientes programas computacionales debidamente licenciados:

- PLS-CADD Versión 12.0 o superior: Software para cálculos electromecánicos, permite generar planos de planta perfil, arboles de carga, tablas de tendido y verificación, al igual verificación de distancias de seguridad a terreno y objetos como obstáculos aéreos que cruce la línea. Verificación de sistema de apantallamiento aplicado para la línea. Requiere levantamiento topográfico como información de entrada.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- TOWER: Módulo para el cálculo y modelado de torres de trasmisión, permite la verificación mecánica de la torre de trasmisión que se ha implementado en la línea.
- POLE: Módulo para el cálculo y modelado de postes de concreto o metálico, para redes de distribución de media tensión o líneas de trasmisión de alta tensión, permite la verificación mecánica del poste implementado en la red de distribución o línea de trasmisión.
- CAISSON: Módulo para cálculo de cimentaciones. Requiere como información de entrada estudio de suelos.
- AutoCAD: Software para desarrollo de planos de diseño, empleado también para verificación de sistema de apantallamiento a través del método de la esfera rodante soportado por NTC 4552.
- Microsoft Excel: Permite generar y gestionar las tablas extraídas de PLS-CADD, TOWER, POLE y CAISSON como entregables al cliente, también se empleara para cálculos de coordinación de aislamiento, verificaciones mecánicas y civiles requeridas.
- Microsoft Word: Se empleará para generación de informes y memorias de cálculo.

#### **6.4 CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO**

Los criterios básicos de diseño se definen con base en la información suministrada por el cliente, en el alcance propio del proyecto y en la normatividad del Operador de Red de la zona donde se desarrollará el proyecto.

##### **6.4.1 Selección de ruta**

Para la selección de la ruta óptima se tendrá en cuenta la información suministrada por el cliente, imágenes satelitales, cartografía suministrada por el POT o la ruta de línea actualmente existente. Además se considerará mantener dicha ruta alejada de áreas residenciales, se debe prever la facilidad de acceso para su montaje y futuro mantenimiento, al igual que garantizar un mínimo de afectación en la vegetación y el debido cumplimiento de las distancias de seguridad establecidas por el RETIE y recomendadas por el NESC (National Electrical Safety Code).

**GERS** realizará un análisis técnico constructivo y su correspondiente presupuesto, el cual será consultado para aprobación de la mejor opción por parte de la entidad contratante.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

#### 6.4.2 Parámetros ambientales

Se deberán definir los parámetros a emplear para la zona del proyecto, dichos datos podrán ser extraídos del IDEAM ([www.ideam.gov.co/](http://www.ideam.gov.co/)), de la página web del aeropuerto más cercano a la zona del proyecto, de información dada por el cliente o de proyectos previos realizados en **GERS**. En la siguiente tabla se presentan los parámetros ambientales a definir para el diseño de la línea.

Tabla 2. Parámetros ambientales

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	VALOR
1.	Altura sobre el nivel del mar	m	
2.	Temperatura ambiente		
	a. Máxima promedio anual	°C	
	b. Media anual	°C	
	c. Mínima promedio anual	°C	
3.	a. Humedad relativa		
	b. Máximo Promedio	%	
	c. Media anual	%	
4.	Nivel cerámico	día/año	
5.	Presión atmosférica	mbar	
6.	Precipitación anual	mm	
7.	Presión básica de viento	Pa	
8.	Aceleración sísmica promedio	m/s <sup>2</sup>	
9.	Nivel de Contaminación (IEC 60071-2)	mm/kV	

#### 6.4.3 Zona de servidumbre

Para la determinación del ancho de servidumbre **GERS** tendrá en cuenta las distancias mínimas requeridas en el reglamento RETIE, de acuerdo con el nivel de tensión aplicado en el proyecto.

En los lugares donde no sea posible dejar estas zonas de servidumbre, **GERS** realizará un estudio de aislamiento que demuestre que no hay daños a las personas o bienes que se encuentran en edificaciones cercanas, por efectos de campos electromagnéticos o radio interferencia y además se deberá garantizar una distancia de seguridad horizontal a la línea dada por el RETIE, teniendo en cuenta los máximos acercamientos del conductor a las edificaciones.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

En la zona de servidumbre a un metro de altura del piso los campos electromagnéticos no deberán superar lo establecido en el Artículo 14° del RETIE para exposición general y fuera de las áreas de servidumbre los valores de exposición del público general.

#### **6.4.4 Distancias de seguridad**

Para la prevención del riesgo eléctrico se deberán conservar distancias prudentes respecto a las partes energizadas para evitar contacto accidental de los objetos o personas con dichas partes, esas distancias se conocen como distancias mínimas de seguridad conforme a RETIE.

##### **6.4.4.1 Distancia mínima vertical fase tierra**

Corresponden a las distancias mínimas a tierra, cruces de vías, ríos y zonas cultivables, las cuales son establecidas por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, (las cuales fueron adoptadas del National Electrical Safety Code, NESC ANSI C2.) y por el Design Manual for High Voltage Transmission Lines.

##### **6.4.4.2 Distancias mínimas entre el conductor de fase y objetos**

Son las distancias mínimas verticales y horizontales que la línea debe conservar a objetos. Estas distancias deben conservarse siempre para evitar que la línea genere afectaciones a las estructuras cercanas.

##### **6.4.4.3 Distancias eléctricas entre fases el apoyo y a otras líneas**

Corresponden a las distancias mínimas a considerar entre fases, entre fases y el apoyo y a otras líneas, que se tendrán en cuenta para la selección de la configuración en los apoyos, las cuales son tomadas del Red-Book – EPRI - Design Manual for High Voltage Transmission Lines y del RETIE.

#### **6.4.5 Configuración de los apoyos**

En esta etapa se definirá la configuración de los apoyos de línea a emplear, para lo cual se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Apoyos normalizados por el cliente si aplica, o en su defecto lo considerado por el Operador de Red de la zona donde se desarrollará el proyecto.
- Distancias de seguridad al terreno, objetos u obstáculos aéreos, entre fases y a otras líneas que crucen con el proyecto.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- Radio de apantallamiento.
- Sugerencias o requerimientos por parte del cliente.

#### 6.4.6 Selección del conductor de fase

##### 6.4.6.1 Análisis para el conductor de fase en condiciones normales de operación

El conductor de fase elegido no debe exceder la temperatura máxima de operación. Con este criterio se determina la capacidad de corriente de los conductores en condiciones normales de operación de la línea. Así mismo se determinan las temperaturas del conductor energizado para las temperaturas máxima, promedio y mínima ambiente.

Se requiere estimar la temperatura del conductor para diferentes condiciones de circulación de corriente, temperatura ambiente, radiación solar y viento.

La siguiente es la ecuación en la que se tiene en cuenta la relación directa entre la capacidad de transporte de corriente de los conductores y la temperatura que se desarrolla en ellos, considerando que las pérdidas por calor en el conductor y el calor suministrado por la radiación solar deben compensarse por convección y radiación en el área que rodea al conductor:

$$I_{max}^2 * R_{20} * [1 + K * (T_c - 20)] + \alpha * c * d = C_1 * (T_c - T_a) * (V * d)^{C_2} + E * S * d * \pi * [(T_c + 273)^4 - (T_a + 273)^4]$$

Donde:

*I<sub>max</sub>*: Corriente máxima del conductor en A.

*R<sub>20</sub>*: Resistencia del conductor a 20°C en ohm/m.

*d*: Diámetro del conductor en m.

*K*: Factor de corrección para resistencia del conductor.

*a*: Coeficiente de absorción solar.

*S<sub>i</sub>*: Radiación solar en W/m<sup>2</sup>.

*E*: Coeficiente de emisividad.

*C<sub>1</sub>*: Constante que depende del tipo de conductor, igual a 8,55.

*C<sub>2</sub>*: Constante que depende del tipo de conductor, igual a 0,448.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

S: Constante de Stefan, igual a 5.75E-08 W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>.

V: Velocidad de diseño del viento en m/s.

T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente en °C.

T<sub>c</sub>: Temperatura del conductor en °C.

El conductor a analizar deberá tener una capacidad de corriente mayor a la requerida para satisfacer este criterio.

#### 6.4.6.2 Análisis para el conductor de fase en condiciones de falla

Para verificar el conductor por límite térmico ante corrientes por fallas en la línea se utilizarán las siguientes expresiones:

$$I_{th} = S_{th} \times a$$

$$S_{th} = \frac{K}{\sqrt{T_k}}$$

$$K = \sqrt{\frac{\chi_{20} \times c \times \rho}{\alpha_{20}} \times \ln \left( \frac{1 + \alpha_{20} \times (T_c - 20)}{1 + \alpha_{20} \times (T_a - 20)} \right)}$$

Donde:

I<sub>th</sub>: Corriente de falla admisible, en A.

S<sub>th</sub>: Densidad de corriente, en A/m<sup>2</sup>.

a: Sección del conductor, en m<sup>2</sup>

T<sub>k</sub>: Tiempo de duración de la falla, en segundos.

K: Factor de cálculo de la densidad de corriente.

χ<sub>20</sub>: Conductividad específica.

T<sub>c</sub>: Temperatura del conductor al final del cortocircuito, en °C.

T<sub>a</sub>: Temperatura del conductor al inicio del cortocircuito, en °C.

c: Capacitancia térmica, J/kg°C.

ρ: Masa específica, en kg/m<sup>3</sup>.

α<sub>20</sub>: Coeficiente de variación de resistencia con la temperatura, en 1/°C.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

La corriente de falla admisible deberá ser mayor que la corriente de cortocircuito máxima esperada, y además deberá soportar el valor medio estimado para una descarga atmosférica estimada.

#### 6.4.6.3 Análisis mecánico del conductor

Para la determinación del conductor de fase desde el punto de vista mecánico se realizará un análisis para cada uno de los vanos, considerando como mínimo las siguientes condiciones:

- **Condición diaria:** Tensión con elasticidad final a temperatura media y sin viento: 20% de la tensión de rotura del conductor.
- **Condición inicial (CREEP):** Tensión con elasticidad inicial a temperatura mínima y sin viento: menor a 33% de la tensión de rotura del conductor.
- **Condición de carga máxima o viento máximo:** Tensión con elasticidad final a temperatura coincidente, con viento de diseño: menor a 50% de la tensión de rotura del conductor.
- **Condición de carga media o viento medio:** Tensión con elasticidad final a temperatura coincidente y con viento promedio.
- **Condición Flecha máxima:** Tensión con elasticidad final a temperatura máxima del conductor y sin viento.

Adicionalmente se deberán emplear las condiciones normalizadas o exigidas por el cliente.

Para el control de flechas se considerará la temperatura del conductor asociada al valor de temperatura máxima ambiente.

#### 6.4.7 Selección del cable de guarda

Para la adecuada protección de la línea contra descargas atmosféricas y de acuerdo con la configuración seleccionada se deberá determinar la cantidad de cables de guarda a emplear. Considerando la normatividad en Colombia que limita los diámetros y secciones de los conductores, como se indica a continuación:

- ✓ Diámetro mínimo según RETIE y NTC-4552-3 2008. CRITERIO mayor o igual a 8 mm.



<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- ✓ Sección mínima según RETIE y NTC-4552-3 2008, CRITERIO mayor o igual a 50 mm<sup>2</sup>.

Adicionalmente el cable de guarda se verificará para cumplir con el siguiente criterio:

- ✓ Tener capacidad de soportar fallas por cortocircuito del sistema.

La capacidad de corriente del cable de guarda se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$I = \left[ \frac{J * A^2 * De * S * \ln(1 + \alpha * (\phi - \phi_o))}{\rho * \alpha * t} \right]^{1/2}$$

Donde:

- I: Capacidad de corriente, en A.
- J: Constante 4.185 Julios/caloría
- A: Sección nominal del conductor, mm<sup>2</sup>
- S: Calor específico, en calorías/gr °C
- De: Densidad, en gr/cm<sup>3</sup>
- α Coeficiente de temperatura, en 1/°C
- Ø<sub>o</sub> Temperatura final en °C
- Ø Temperatura inicial en °C
- ρ Resistividad en ohm – cm.
- t: Tiempo de duración del cortocircuito, en s.

#### 6.4.8 Selección de aisladores

Los aisladores son los elementos que sirven de soporte a los conductores, por lo que deben proporcionar una rigidez dieléctrica adecuada entre las partes energizadas y la tierra, además de soportar esfuerzos mecánicos debidos al viento, sismos y corrientes de cortocircuito a que pueden estar sometidos los conductores.

Los aisladores se seleccionaran teniendo en cuenta las tensiones y esfuerzos electromecánicos a que estarán sometidos, los niveles de aislamiento, las distancias críticas y de seguridad asociadas al nivel de voltaje y al nivel de contaminación de la zona del proyecto.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

El dimensionamiento del aislador depende de la verificación que se hace de las características que ofrecen los fabricantes de las siguientes variables:

- **Distancia de fuga:**

Se verifica que la distancia de fuga del aislador sea igual o ligeramente mayor que la necesaria dependiendo del nivel de tensión y el nivel de aislamiento exigido por el grado de contaminación de la zona donde se instalará el aislador.

- **Resistencia mecánica:**

Se verifica que la resistencia mecánica del aislador sea mayor que las cargas a las que va a estar sometido.

La distancia de fuga mínima nominal necesaria, se obtiene empleando la siguiente expresión:

$$Df = Kf * Um * \frac{1}{Ka}$$

Donde:

Df: Distancia de fuga mínima nominal, mm.

Kf: Distancia de fuga específica mínima nominal, en mm/kV de acuerdo a nivel de contaminación, IEC 60815.

Um: Tensión fase – fase máxima del sistema, kV.

Ka: Factor de corrección por altura. Ka=1 para alturas menores a 1000 m.s.n.m

El valor de tensión fase-fase máximo para un sistema está dado según la norma IEC 71-2.

#### **6.4.9 Apantallamiento**

Con la configuración de los apoyos de la línea y la altura de la instalación de los conductores de fase, se determinará la ubicación efectiva del cable de guarda para proteger la línea contra descargas atmosféricas tipo rayo.

Para el diseño del apantallamiento mediante cables de guarda se seguirá la metodología fundamentada en el modelo clásico electrogeométrico. Este método permite mediante un procedimiento geométrico, seleccionar la altura efectiva del cable de guarda, para establecer el ángulo o radio equivalente de acuerdo al resultado de cálculo de SIPRA usado para el apantallamiento, dentro del cual se

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

ubican las fases de manera tal que sean menos atractivas a los rayos que los elementos apantalladores.

A partir de lo anterior, se determina la “distancia de descarga” del rayo a un objeto, cuyo significado es la longitud del último paso de la guía de un rayo bajo la influencia de un terminal que lo atrae, o de la tierra.

La distancia de descarga, se determinará a partir de las condiciones particulares del proyecto, basándose en la metodología descrita en la norma NTC-4552. Se debe determinar la DDT (Densidad de descargas a tierra) para la zona del proyecto, tomada de la norma NTC-4552.

Con la configuración de los apoyos de la línea y la altura de instalación de los conductores de fase, se determinará la ubicación efectiva del cable de guarda para proteger la línea contra descargas atmosféricas tipo rayo.

Para la aplicación del modelo electrogeométrico se parte de considerar tres magnitudes básicas en la silueta de los apoyos de la línea, las cuales son:

- H: Altura del hilo de guarda, a la cual el apantallamiento resulta efectivo
- Hw: Altura de la fase más expuesta
- L: Distancia horizontal protegida

El apantallamiento adecuado se puede obtener variando una de estas magnitudes, teniendo fijas las otras dos, verificando en todo momento que se cumplan las distancias eléctricas de seguridad fase-fase, fase-estructura y fase-tierra.

Conocida la configuración geométrica de las fases en la silueta de los apoyos, lo cual es equivalente a decir que se conocen los valores Hw y L, se procede a determinar el valor de H que garantice un apantallamiento efectivo para la distancia de descarga a partir de la cual se producen las descargas que al impactar directamente sobre los conductores de fase de la línea pueden producir el flameo de los aisladores lo cual eventualmente ocasiona la salida del circuito.

Dependiendo de la configuración geométrica de las fases se puede requerir de uno o dos hilos de guarda para el apantallamiento de la línea. En ambos casos se aplicará el mismo procedimiento para determinar la altura efectiva del apantallamiento.

La altura efectiva del apantallamiento o altura del hilo de guarda sobre los conductores de fase que está protegiendo, se define así:

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

$$H = Sc - \sqrt{Sc^2 - \left( L + \sqrt{Sc^2 - (Sc - Hw)^2} \right)^2}$$

Donde:

H: Altura del hilo de guarda, a la cual el apantallamiento resulta efectivo, m

Hw: Altura de la fase superior, m.

El ángulo de apantallamiento para la distancia L protegida está definido por  $\alpha$  así:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{L}{H - Hw} \right)$$

La distancia crítica o de descarga corresponde al último salto de sobretensión atmosférica para la corriente crítica y está dada por:

$$Sc = 27(Ic)^{0.32}$$

Donde:

Sc: Distancia crítica o de descarga, m.

Ic: Corriente crítica, kA.

Se denomina corriente crítica, Ic, en kA, a la producida por una descarga sobre una línea, capaz de ocasionar un voltaje superior al BIL y se calcula con la siguiente expresión:

$$Ic = \frac{2BIL}{Zo}$$

Donde:

Zo: Impedancia característica de la línea, en ohmios.

#### 6.4.10 Cálculo mecánico de conductores

Los apoyos de las líneas están sometidos a diferentes cargas dependientes de los conductores a utilizar y de las condiciones atmosféricas de la zona.

Las cargas a considerar y que se describen posteriormente son las siguientes:

- Carga longitudinal, debida a la tensión de los conductores.
- Carga transversal, debida a la acción del viento.
- Carga transversal, debida al ángulo de deflexión de la línea

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- Carga vertical, debida al peso de los conductores y herrajes.

#### 6.4.10.1 Hipótesis de cargas

De acuerdo con el RETIE Las diferentes hipótesis de carga que se considerarán para los diferentes tipos de apoyos a utilizar en el diseño de la línea serán:

#### ESTRUCTURAS DE SUSPENSIÓN

- Condición normal

Conductores y cables de guarda intactos, viento máximo de diseño y temperatura coincidente.

- Condición anormal

- Para líneas con conductores en haz:
  - El 50% de los subconductores rotos en cualquier fase; los demás subconductores, fases y cables de guarda sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
  - Un cable de guarda roto y las fases y el cable de guarda restante (si existe) sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
- Para líneas con un solo conductor por fase:
  - Un conductor roto en cualquier fase. Las demás fases y el (los) cable (s) de guarda sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
  - Un cable de guarda roto y las fases y el cable de guarda restante (si existe) sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.

#### ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN

- Condición normal

Conductores y cables de guarda intactos, viento máximo de diseño y temperatura coincidente.

- Condición anormal

- Para líneas con conductores en haz:

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- Todos los subconductores en cualquier fase y un cable de guarda rotos simultáneamente. Las demás fases y el cable de guarda restante (si existen), sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
- Para líneas con un solo conductor por fase:
  - Cualquier fase y un cable de guarda rotos simultáneamente. Las demás fases y el cable de guarda restante (si existe), sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
  - Dos fases diferentes rotas. La fase restante y el (los) cable (s) de guarda, sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.

## **ESTRUCTURAS TERMINALES**

### ➤ Condición normal

Las condiciones de trabajo son temperatura coincidente y viento máximo de diseño, actuando longitudinalmente sobre la estructura por ser la condición más severa.

### ➤ Condición anormal

- Para las líneas con conductores en haz:
  - Todos los subconductores en cualquier fase y un cable de guarda rotos simultáneamente. Las demás fases y el cable de guarda restante (si existe), sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
  - Todos los subconductores rotos en dos fases diferentes. La fase restante y el (los) cable(s) de guarda, sano(s). Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
- Para línea con un solo conductor fase:
  - Cualquier fase y un cable de guarda rotos simultáneamente. Las demás fases y el cable de guarda restante (si existe), sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.
  - Dos fases diferentes rotas. La fase restante y el (los) cable (s) de guarda, sanos. Viento máximo promedio y temperatura coincidente.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

#### 6.4.10.2 Carga longitudinal cálculo de tensiones mecánicas

En el cálculo de tensiones sobre los conductores es necesario tener en cuenta los efectos que producen las diferentes condiciones atmosféricas que pueden presentarse, así como la simultaneidad de cargas actuantes.

Las variaciones de las condiciones climáticas influyen directamente sobre las tensiones a que se someten los cables suspendidos entre dos apoyos. Estas variaciones se manifiestan básicamente por la acción que ejercen las fuerzas actuantes y los cambios de la temperatura ambiente sobre los conductores.

Esas variaciones de temperatura y de las fuerzas actuantes influyen sobre los cables con variaciones de las tensiones a que están sometidos, las cuales conllevan a la dilatación o contracción de los conductores, evidenciadas por cambios en la flecha.

La ecuación de cambio de estado permite determinar la variación de la tensión que se produce en los cables. Evaluando la misma a partir de un conjunto de condiciones iniciales preestablecidas, se pueden determinar las condiciones para otro estado requerido.

La ecuación de cambio de estado es la siguiente:

$$T_2^2 * [ T_2 + \frac{S * X_C^2 * F_{R1}^2}{24 * \lambda * T_1^2} + \frac{S * \alpha}{\lambda} * (\theta_2 - \theta_1) - T_1 ] = \frac{S * X_C^2 * F_{R2}^2}{24 * \lambda}$$

Donde:

T<sub>1</sub>: Tensión del conductor en condiciones iniciales, daN.

T<sub>2</sub>: Tensión del conductor en condiciones finales, daN.

θ<sub>1</sub>: Temperatura en condiciones iniciales, °C.

θ<sub>2</sub>: Temperatura en condiciones finales, °C.

F<sub>R1</sub>: Carga actuando sobre el conductor en condiciones iniciales, daN/m.

F<sub>R2</sub>: Carga actuando sobre el conductor en condiciones finales, daN/m.

X<sub>c</sub>: Longitud horizontal del vano de conductor, m.

S: Sección del conductor, mm<sup>2</sup>.

α: Coeficiente de dilatación lineal del material conductor, °C<sup>-1</sup>.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

$\lambda$ : Coeficiente de alargamiento elástico del material conductor  $1/E$ ,  $\text{mm}^2/\text{daN}$ .

$E$ : Módulo de elasticidad del material conductor,  $\text{daN}/\text{mm}^2$ .

Para determinar la carga resultante actuando sobre el conductor, se determinan previamente las cargas que pueden actuar sobre el conductor y se obtiene la combinación de cargas más crítica, que se escoge como la resultante, la cual es la suma vectorial de la carga del peso y la carga del viento. Para facilitar los cálculos se ha adoptado para la ecuación de estado la nomenclatura siguiente:

$$T_2^2 * (T_2 + A + B - T_1) = C$$

Haciendo:

$$A = \frac{S * X_c^2 * F_{R1}^2}{24\lambda * T_1^2}$$

$$B = \frac{S * \alpha}{\lambda} * (\theta_2 - \theta_1)$$

$$C = \frac{S * X_c^2 * F_{R2}^2}{24 * \lambda}$$

Y finalmente la ecuación de tercer orden queda de la forma siguiente:

$$T_2^2 * (T_2 + D) = C$$

Siendo:

$$D = A + B - T_1$$

### 6.4.10.3 Fuerza longitudinal aplicada sobre las estructuras

La fuerza longitudinal aplicada sobre las estructuras de retención se calcula como la diferencia de tensión entre vanos adyacentes para la condición más crítica. Esta fuerza se puede representar como:

$$FL = ABS * (T_1 - T_2) * \text{Cos}(A)$$

Donde:

FL: Fuerza Longitudinal.

ABS: Valor absoluto.



<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

T1: Tensión en el vano anterior del apoyo.

T2: Tensión en el vano posterior del apoyo.

A: Ángulo de deflexión de la línea.

Las estructuras de suspensión no tienen carga longitudinal en condiciones normales.

#### **6.4.10.4 Carga transversal debida a la acción del viento**

##### **6.4.10.4.1 En conductores**

La carga debida a la acción del viento es aplicada perpendicularmente al conductor; se calcula mediante la siguiente expresión:

$$FTc = Po * Gc * Ca * D * L$$

Donde,

FTc: Carga en los conductores sobre estructuras debidas a la acción del viento, daN.

Po: Presión dinámica del viento. daN/mm<sup>2</sup>, se calcula así:

$$Po = 0.0048Vs^2 S_4$$

Donde,

S4: Coeficiente de densidad de variación del aire, para

$$500 \leq H \leq 2000$$

$$S_4 = 1 - \frac{0.24(H - 500)}{H}$$

Donde,

H: Altura sobre el nivel del mar

Vs: Velocidad de diseño km/h.

$$Vs = VS_1 S_2 S_3$$

Donde,

V: Velocidad básica del viento.

S1: Coeficiente de topografía.

S2: Coeficiente de rugosidad del terreno, de tamaño y ASNM.

S3: Coeficiente de grado de seguridad y vida útil.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

Gc: Factor de respuesta de ráfaga

$$Gc = 0.50 + 5.4K^{1/2} * (10/Zo)^{1/\alpha} * ((1/1 + (0.8 * L/Ls)) + (0.16D * S^{1/3} * Vs^{2/3} * Zo^{2(1-\alpha)/3\alpha}) / LZg^{2/3\alpha})^{1/2}$$

Donde,

Zo: Altura del conductor sobre el terreno, metros.

L: Vano en metros.

D: Diámetro del conductor, metros.

S: Flecha correspondiente al vano viento, metros.

$\alpha$  7.00 (Terreno abierto).

Zg: 274 (Terreno abierto).

K: 0.005 (Terreno abierto).

Ls: 67 (Terreno abierto).

Ca: Coeficiente de arrastre del conductor.

$$Ca = 1.23 - 0.20425 * V * D * K^{1/2}$$

En condiciones de rotura de un conductor la carga transversal de las fases sanas se calcula con la presión media de viento y la de las fases rotas como el 75% de la carga en régimen normal.

#### 6.4.10.4.2 En aisladores

La carga debida a la acción del viento se calcula con la siguiente expresión:

$$FTa = 0.60 * Po * Gca * Caa * Da * La$$

Donde,

FTa: Fuerza de viento actuando sobre la cadena de aisladores.

Po: Presión dinámica del viento, daN/m calculado como se describió anteriormente.

Gca: Factor de respuesta de ráfaga sobre los aisladores

$$Gca = 0.51 + 5.4K^{1/2} * (10/Zo)^{1/\alpha} * ((1/1 + (0.5625 * Zo / Ls)) + (0.011 * Vs^{5/3} * Zo^{5/3(1-\alpha)/\alpha}) / LZg^{5/3\alpha})^{1/2}$$

Donde,

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- Zo: Altura de la cadena de aisladores, m.
- Vs: Velocidad de ráfaga.
- $\alpha$  Constante dependiente de tipo de terreno.
- Zg: Constante dependiente de tipo de terreno.
- K: Constante dependiente de tipo de terreno.
- Ls: Constante dependiente de tipo de terreno.
- Caa: Coeficiente de arrastre sobre la cadena.
- Da: Diámetro de un aislador.
- La: Longitud de la cadena de aisladores o del aislador.

#### **6.4.10.5 Carga transversal debida al ángulo de deflexión de la línea**

La fuerza transversal sobre conductores y cables de guarda por la presencia de ángulos de deflexión de la línea,  $T_a$ , está dada por la siguiente expresión:

$$T_a = T_1 + T_2 * \text{seno}(A/2)$$

Donde,

- $T_1$ : Tensión vano anterior daN.
- $T_2$ : Tensión vano posterior daN.
- A: Ángulo de deflexión de la línea, grados.

#### **6.4.10.6 Carga vertical debida al peso de los conductores**

El peso del cable se encuentra multiplicando el peso propio de este por el valor del vano peso que le corresponde al apoyo evaluado.

$$FV = WcLp + WaNa + Wm$$

Donde,

- FV: Fuerza vertical.
- Wc: Peso unitario del conductor (kg/m).
- Lp: Vano peso, m.
- Wa: Peso de la cadena con herrajes.
- Na: Número de cadenas.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

Wm: Peso de mantenimiento por fases.

En condiciones de rotura de un conductor la carga vertical de las fases sanas es igual a la del régimen normal y la de las fases rotas se calcula como el 75% de la carga de la fase sana.

#### **6.4.11 Curvas características de los cables**

##### **6.4.11.1 Catenaria de flechas máximas verticales**

La catenaria de flechas máximas verticales de un cable, correspondiente a los distintos vanos que pueda haber en una línea, es la curvatura que tomará aquél cuando se presenten las condiciones de temperatura y sobrecarga en que se produzcan dichas flechas.

Para las condiciones de la zona del proyecto, la flecha máxima se presenta a la máxima temperatura del conductor energizado sin considerar el efecto del viento.

##### **6.4.11.2 Catenaria de flechas mínimas verticales**

La catenaria de flechas mínimas verticales de un cable, correspondiente a los distintos vanos que pueda haber en una línea, es la curvatura que tomará aquél cuando se presenten las condiciones de temperatura y sobrecarga en que se produzcan dichas flechas, es decir cuando se presente la temperatura mínima ambiente sin tener en cuenta el efecto del viento.

#### **6.4.12 Árboles de carga**

Con base en los resultados del cálculo de las cargas descritas anteriormente, se elaborarán los árboles de carga, para los distintos apoyos seleccionados.

#### **6.4.13 Factores de mayoración**

Para proteger las estructuras de la acción de las cargas ejercidas por los conductores y de la variación aleatoria de los fenómenos meteorológicos es necesario afectar las cargas de trabajo por un conjunto de factores de sobrecarga con los cuales se garantiza la resistencia de las estructuras y por consiguiente la confiabilidad de la línea.

A continuación se presentan los factores a utilizar:

Tabla 3. Factores de mayoración

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

Tipo de Carga	Factor
Transversal debida al viento para estructuras de retención y terminales	2,00
Transversal debida al viento para estructuras de suspensión	1,65
Transversal debida al ángulo de deflexión	1,40
Longitudinal	1,20
Verticales	1,10
Peso propio	1,00

#### 6.4.14 Criterios aplicados para el sistema de puesta a tierra

El diseño de una puesta a tierra, más que para protección de las instalaciones o la operación adecuada del sistema, se ejecuta con el objeto de proteger adecuadamente a cualquier persona que se encuentre cerca de las instalaciones eléctricas en el momento de una falla a tierra.

Los voltajes de paso y de contacto son parámetros que deben tenerse en cuenta en el diseño de la puesta a tierra de una línea con el objeto de asegurar que una persona parada dentro (voltaje de paso) o en las vecindades de las instalaciones o tocando (voltaje de contacto) alguna de las estructuras que soportan las líneas o los equipos, no queden expuestas a voltajes que puedan poner en peligro su vida o su salud.

El diseño de los sistemas de puesta a tierra y la determinación de los voltajes involucrados requiere el cálculo de resistencias a tierra, de distribuciones de potencial y de corrientes de falla para lo cual no existe un modelo único y definido, ya que debido a la complejidad de los cálculos involucrados se han desarrollado modelos analíticos o basados en la experiencia.

La corriente de falla que se deriva por el cuerpo humano y pasa de una mano a un pie produce el voltaje de contacto y la que pasa de un pie al otro produce el voltaje de paso, normalmente la primera es más peligrosa que la segunda, ya que, aunque la magnitud de la corriente en la región torácica que produce fibrilación es la misma en ambos casos, no toda la corriente que fluye de una pierna a otra pasa por la región del corazón. La corriente máxima que puedan soportar la mayoría de personas sanas en la región del corazón, está definida como:

$$I_b = 0.116/T^{1/2}$$

Donde:

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

Ib: Corriente máxima en el cuerpo humano (amperios)

T: Duración de la corriente (segundos)

Generalmente las resistencias de contacto de la mano y el pie se desprecian, pero se considera la resistencia del suelo en contacto con los pies, la cual se calcula como  $3\rho$  siendo  $\rho$  la resistividad del suelo. Para el cuerpo humano es razonable considerar una resistencia de 1.000 ohmios, con lo cual se obtienen las resistencias equivalentes de:

$R = 1000 + 6\rho$  Para corriente de pie a pie.

$R = 1000 + 1.5\rho$  Para corrientes de mano a pie.

Debido que el potencial es más fácil de calcular y de medir que la corriente, con las ecuaciones anteriores se obtienen las tensiones de paso y de contacto, máximas tolerables, como:

$$V_p = (1000 + 6\rho) * (0.116) / T^{1/2}$$

$$V_c = (1000 + 1.5\rho) * (0.116) / T^{1/2}$$

Para determinar el tiempo T de duración de la falla es necesario analizar el esquema de protección de la línea y determinar el tiempo de interrupción de la corriente de falla.

El sistema de puesta a tierra del cable de guarda de la línea, deberá garantizar que su resistencia no sea mayor a la especificada por el RETIE.

#### 6.4.15 Placas de señalización e identificación

Se empleará la recomendación del RETIE referente a la señalización de seguridad, la cual tiene como objetivo transmitir mensajes de prevención y prohibición en forma clara, precisa y de fácil entendimiento, en la zona del proyecto.

Los apoyos se identificaran de acuerdo a la nomenclatura empleada por el propietario de la línea o la sugerida por **GERS** en caso de no existir.

#### 6.4.16 DISEÑO CIVIL

Para el diseño electromecánico, **GERS** sigue los lineamientos de las siguientes normas y reglamentos:

- Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. 2010.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

- ACI, American Concrete Institute, “Building Code Requirements for structural concrete”.
- ASTM-52.
- IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- NFPA, National FIRE Protection Association.

Previo a la realización de los diseños, se debe realizar el Estudios de Suelos, el cual si está dentro del alcance de **GERS** lo subcontrata, de lo contrario lo debe suministrar el cliente. El estudio de suelos contempla las actividades necesarias para la investigación del subsuelo, con el fin de obtener recomendaciones para manejo de taludes, cortes, llenos, manejo de aguas lluvias, profundidad de cimentación y recomendación de clase de fundaciones a emplear en el proyecto.

Con las recomendaciones del estudio de suelos y las cargas actuantes sobre las estructuras obtenidas en el software de diseño PLS-CADD, el ingeniero civil procede a realizar los diseños de las cimentaciones.

Estos diseños pueden ser:

- Cimentación superficial, tipo Zapata.
- Cimentación profunda tipo pilotes.
- Cimentación profunda tipo Caisson.

Estas cimentaciones se diseñan de acuerdo con la metodología establecida en el Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y las recomendaciones de la ACI.

Como entregables de diseño civil, se tienen planos con las dimensiones y despieces de la cimentación propuesta, memorias de cálculo y listados de cantidades de obra y presupuestos.

## 7 CONTROL DEL DISEÑO

Todo documento emitido por **GERS** referente a Diseños (planos, memorias e informes), deben cumplir con lo establecido en el procedimiento PR-004, PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE DISEÑO.

La inspección de los productos obtenidos en el diseño se lleva a cabo por medio del Procedimiento para inspección e identificación del estado de inspección, PR-010. El control de producto no conforme se hace mediante el procedimiento PR-013.

<b>GERS</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE LÍNEAS</b>	<b>PR-503</b>	
		Revisión No: 02	Fecha aprobación 01/03/2021

Si el contrato solicita la elaboración de un plan de calidad específico para el proyecto, este se hace según los lineamientos del Procedimiento para elaboración de planes de calidad, PR-002.

El control del proceso en sus variables macro se hace empleando el Procedimiento para Control de Procesos PR-009. Las variables de proceso a controlar son:

- Tiempo.
- Costo.
- Recursos Humanos.
- Recursos Técnicos.

## 8 REGISTROS

Registro de las revisiones:

- En planos: Casillas en el cajetín Elaboró, revisó, aprobó.
- En informes: Portada del documento Elaboró, revisó, aprobó.
- RG-010-01 Registro de inspección.