



Tabla de Contenido

	<i>Pág.</i>
1 OBJETO.....	4
2 ALCANCE	4
3 GENERALIDADES RED COMPACTA SEMIAISLADA	4
4 DEFINICIONES.....	5
5 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA	7
6 CRITERIOS DE APLICACIÓN.....	7
7 CONDICIONES METEOROLÓGICAS	8
7.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS	10
8 CONFIGURACIONES DE CONJUNTOS	10
9 CRITERIOS DE DISEÑO ELÉCTRICO	11
9.1 CONDUCTOR.....	11
9.1.1 Sección Económica	13
9.2 CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR	13
9.2.1 Limitada por la Corriente Máxima Soportada por el Conductor	13
9.2.2 Limitada por la Regulación de Tensión	14
9.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA	14
9.4 DISTANCIAS DE SEGURIDAD.....	15
9.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	15
9.6 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	17
10 CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO	18
11 ANEXO No.1. TABLAS CONSTANTE DE REGULACIÓN K	21
12 ANEXO No.2. TABLAS CONSTANTE DE POTENCIA MÁXIMA K-1	24
13 ANEXO No.3. TABLAS CONSTANTE DE PERDIDAS $K_{\Delta P}$	27
14 ANEXO No.4. CURVA DE USO DE POSTES 14 m - 1050 kg - 13,2 kV	29
15 ANEXO No.5. CÁLCULO MECÁNICO 13,2 kV	32
16 ANEXO No.6. CURVAS DE TENDIDO 13,2 kV	37
17 ANEXO No.7. CURVA DE USO DE POSTES 14 m - 1050 kg - 34,5 kV	42



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

18	ANEXO No.8. CÁLCULO MECÁNICO 34,5 kV	45
19	ANEXO No.9. CURVAS DE TENDIDO 34,5 kV	50



Lista de Tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Normatividad de referencia	7
Tabla 2. Zonas climáticas	8
Tabla 3. Municipios y corregimientos de Cali asociado a cada zona	9
Tabla 4. Configuraciones de conjuntos de red semiaislada	10
Tabla 5. Valores de constante RMG	13
Tabla 6. Características de conductor de puesta a tierra	16
Tabla 7. Configuración de puesta a tierra para líneas aéreas de distribución	16
Tabla 8. Constantes de regulación para 13,2 kV	22
Tabla 9. Constantes de regulación para 34,5 kV	23
Tabla 10. Constantes de potencia máxima para 13,2 kV	25
Tabla 11. Constantes de potencia máxima para 34,5 kV	26
Tabla 12. Constante de pérdidas para 13,2 kV	28
Tabla 13. Constante de pérdidas para 34,5 kV	28

Lista de Figuras

	<i>Pág.</i>
Figura 1. Criterios de selección de zonas climáticas	10
Figura 2. Procedimiento para selección de medidas de protección contra descargas atmosféricas	18



1 OBJETO

La presente norma tiene por objeto establecer los criterios básicos para la elaboración de proyectos de líneas y redes aéreas trifásicas de distribución con tensiones nominales de 13,2 kV y 34,5 kV, conformadas básicamente por circuitos simples de tres conductores de ACSR, con una pantalla semiconductora sobre el conductor, una cubierta de polietileno reticulado (XLPE) termoestable y una capa semiconductora sobre la cubierta (triple capa), que puede estar sustentados por un cable de acero galvanizado (cable mensajero) según su configuración, con distancias reducidas entre fases (disposición compacta), de manera de asegurar correctas condiciones técnico económicas de las instalaciones y buena calidad de servicio de energía eléctrica.

2 ALCANCE

Esta norma tiene como alcance y aplicación, las líneas aéreas de 13,2 kV y 34,5 kV que serán tendidas, con las características descritas en el objeto de la presente, principalmente en:

- Zonas arboladas, para evitar fallas a tierra cuando se presentan contactos temporales con ramas
- Vías angostas o donde se presentan acercamientos a las edificaciones además con posibilidad de contacto de fases.

Dependiendo del área a servir, esta norma aplica para las líneas y redes urbanas o rurales.

3 GENERALIDADES RED COMPACTA SEMIAISLADA

Es una configuración de red de distribución, aplicada en media tensión, conformada básicamente por circuitos trifásicos de ACSR con una pantalla semiconductora y una cubierta de polietileno reticulado (XLPE) termoestable, que pueden estar sustentados por un cable de acero galvanizado según el esquema seleccionado, con distancias reducidas entre fases.

Entre las ventajas técnicas, las redes de distribución compactas semiaisladas son compatibles con los equipos (conexionado, protección, medida y maniobra) que se consideran para las redes convencionales y las técnicas de instalación son similares a excepción de las consideraciones especiales que se deben aplicar en el momento de halado y tendido de conductores para salvaguardar la integridad del aislante.

Si bien las redes de distribución compactas semiaisladas demandan una inversión inicial superior a las redes convencionales, en operación resultan más económicas. Desde el punto de vista de costos operacionales, la configuración de red compacta semiaislada presenta una mejor confiabilidad debido a la reducción de la duración y frecuencia de las interrupciones en el servicio de energía, reduce los riesgos de accidente en el personal operativo a pesar que la red semiaislada deben ser tratada con las mismas medidas de seguridad que una convencional; en adición, el esquema de red compacta



semiaislada ofrece una menor intervención en la red causando una reducción en los costos de mantenimiento correctivo y preventivo.

En temas medioambientales la red compacta semiaislada tiene un menor impacto ambiental debido a que los espacios de montaje y distancias de seguridad se reducen considerablemente respecto a una red convencional, reduciendo en volumen y frecuencia las podas de árboles.

La red compacta semiaislada ofrece una alternativa competitiva para el montaje de circuitos alimentadores de hasta cuatro ternas por estructura, manteniendo las alturas de los soportes convencionales, optimizando la inversión inicial y permitiendo una mayor potencia transmitida por trayectoria de línea.

Finalmente, cabe destacar que por el peso del conductor de las líneas compactas semiaisladas resultan vanos más cortos que en el caso de una línea convencional y se requiere intercalar estructuras de retención en tramos máximos entre 300 a 500 metros en función del conductor empleado por temas de confiabilidad mecánica del circuito.

4 DEFINICIONES

ANCLAJE: Poste cuya función es contener o evitar la propagación de una falla como consecuencia de la rotura de un conductor.

ARMADO: Conjunto de materiales cuya función es sostener los conductores en el poste, definiendo la ubicación espacial de los mismos.

CANTÓN: Conjunto de vanos comprendidos entre dos postes con cadenas de amarre, donde se tiende y se regula el conductor.

CIMENTACIÓN: Obra civil cuya función es transmitir las cargas de los postes al suelo, distribuyéndolas de manera que no superen su presión admisible.

CURVAS DE PLANTILLADO: Curvas que muestran la geometría del conductor tendido. Se utilizan durante la etapa de distribución de postes a lo largo del perfil longitudinal de la línea, para comprobar los requerimientos de distancias eléctricas de seguridad e identificar los postes sometidos a tracción ascendente.

EOLOVANO: Distancia para determinar la carga transversal debido a la acción del viento sobre los conductores.

GRAVIVANO: Distancia para determinar la carga vertical debido al peso propio del conductor.

HIPÓTESIS DE CÁLCULO MECÁNICO: Conjunto de los casos climáticos más representativos a los que estaría expuesto el conductor de la línea. Corresponden a combinaciones de temperaturas y sobrecargas durante las cuales se espera que el conductor trabaje dentro de unos límites de tensión mecánica específicos.



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

NIVELES DE CONTAMINACIÓN: Equivale al grado de contaminación ambiental al que se encuentran expuestas las líneas de distribución. Los niveles se definen de acuerdo al grado de exposición de las líneas a la salinidad marina, contaminación industrial, polución, etc.

PUESTA A TIERRA: Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

TABLA DE CÁLCULO MECÁNICO: Tabla que indica las tensiones y flechas que presenta el conductor, para distintos valores de vano regulador, en cada una de las hipótesis de cálculo mecánico.

TABLA DE REGULACIÓN: Tabla que indica las tensiones con las que se deberá tender el conductor en un cantón determinado, bajo las condiciones climáticas señaladas en la Tabla de Tendido. Además, indica el valor de la flecha que se espera en cada vano que conforma el cantón.

TABLA DE TENDIDO: Tabla que indica las tensiones y flechas que presenta el conductor, para distintos valores de vano regulador, en aquellas condiciones climáticas establecidas (temperaturas sin sobrecarga) para el tendido en un cantón de la línea.

TENSIÓN DE SERVICIO: Valor de tensión, bajo condiciones normales, en un instante dado y en un nodo del sistema. Puede ser estimado, esperado o medido.

VANO: Distancia horizontal entre postes contiguos en una línea de distribución.

VANO REGULADOR: Vano a considerar para obtener la tensión mecánica que se debe dar al conductor en un cantón, de manera que se puedan obtener las tensiones y flechas en todos los vanos individuales, para cualquier condición climática que se presente en la línea.

VIENTO DE RÁFAGA: Velocidad de viento que corresponde al promedio de las velocidades observadas durante un período de 3 segundos. Se expresa en km/h.

VIENTO MÁXIMO: Viento máximo de ráfaga, con período de retorno de 36 años, a considerar para calcular la sobrecarga transversal máxima esperada en los elementos de la línea (conductores, aisladores, postes, etc.).

VIENTO REDUCIDO: Viento ráfaga calculado con un período de retorno de 3 años. Se obtiene a partir del viento máximo según el Estándar IEC 60826/2003. Se utiliza en la hipótesis de rotura de conductores, siguiendo la tercera medida de seguridad recomendada por IEC 60826/2003.

VIENTO SOSTENIDO: Velocidad de viento que corresponde al promedio de las velocidades observadas durante un período de 10 minutos. Se expresa en m/s.

Otras definiciones pueden ser consultadas en la NTC 3543.



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

5 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA

Las redes semiaisladas estarán sujetas a los reglamentos, requisitos técnicos y procedimiento vigentes (o el que lo modifique o sustituya) contenidos en las siguientes normas y estándares que se citan como mínimo en la Tabla 1.

Tabla 1. Normatividad de referencia

Ítem	Norma / Entidad	Descripción
1.	RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas Capítulo 3: Requisitos de Productos Artículo 20.1 Aisladores Eléctricos Artículo 20.2 Alambres y Cables Para Uso Eléctrico Artículo 20.12 Conectores, Terminales Y Empalmes Para Conductores Eléctricos Artículo 20.14 Dispositivos De Protección Contra Sobretensiones Transitorias Artículo 20.16.4 Interruptores, Reconectores y Seccionadores de MT Artículo 20.17 Estructuras, Postes y Crucetas para Redes de Distribución Artículo 20.19 Fusibles Artículo 20.20 Herrajes De Líneas De Transmisión Y Redes De Distribución Capítulo 7. Requisitos para el Proceso de Distribución
2.	NTC 2050	Capítulo 3. Métodos y Materiales de las Instalaciones Sección 300. Métodos de Alambrado Sección 320. Alambrado a la Vista Sobre Aisladores Sección 321. Alambrado Soportado por Cable Mensajero Sección 326. Cables de Media Tensión Tipo MV (Medium Voltage)
3.	CREG 070 - 1998	Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
4.	POT Municipal	Plan de Ordenamiento Territorial del municipio respectivo

6 CRITERIOS DE APLICACIÓN

Las redes de media tensión en el SDL y STR de **EMCALI** serán compactas semiaisladas.

EMCALI podrá implementar redes compactas semiaisladas en las siguientes situaciones donde se presenten redes aéreas desnudas:

- Redes aéreas convencionales en tramos que presenten una alta ocurrencia de las interrupciones de servicio causadas por contactos con objetos extraños a la red.
- Zonas donde se requieren mejores índices de confiabilidad y seguridad.
- Optimizaciones de las redes eléctricas.



Entre las principales aplicaciones de la red compacta semiaislada de media tensión se puede hacer referencia de los siguientes casos:

- a. Áreas con una alta densidad de circuitos, como es la salida de subestaciones.
- b. Áreas que demandan un alto índice de confiabilidad, seguridad e incluso un bajo impacto visual.
- c. Zonas densamente arboladas.
- d. Zonas con gran incursión de aves.
- e. Zonas con frecuentes actos de vandalismo
- f. Áreas rurales con vegetación preservada por ley.
- g. Zonas suburbanas.
- h. Zonas industriales.
- i. Reemplazo de conductores en líneas existentes.

En regiones cercanas al mar, zonas industriales con alta polución o zona de alta humedad, la red compacta semiaislada debe ser implementada con conductores y herrajes resistentes a la formación de caminos de descarga superficial (anti-tracking) y a los agentes atmosféricos, particularmente en los conductores, estos deben incluir un compuesto que impida la filtración de humedad hacia su interior.

7 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

El desempeño electromecánico de una línea aérea de distribución de energía eléctrica, está influenciado por las condiciones meteorológicas de su zona de instalación. Las variables climáticas que tiene mayor relevancia en el cálculo mecánico de los elementos de las líneas son la velocidad del viento y la temperatura ambiente.

El diseñador y/o contratista debe verificar la zona de emplazamiento de la línea, para definir la zona de diseño. Sin embargo, **EMCALI** plantea los criterios base que se describen a continuación.

Considerando las características meteorológicas y geográficas de las áreas donde opera la **EMCALI**, se han definido dos zonas climáticas en las que variarán las condiciones en las que se realiza el cálculo mecánico de cables y apoyos, como se indican en las Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2. Zonas climáticas

	m.s.n.m.	Temperatura (°C)			Velocidad del viento km/h ⁽¹⁾
		Mínima	Media	Máxima	
Zona I	900-1200	15	25	35	100



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Zona II	1201-2500	10	20	30	100
----------------	-----------	----	----	----	-----

(1) Valores obtenidos de mapa amenaza eólica NSR-10

Tabla 3. Municipios y corregimientos de Cali asociados a cada zona

Cali	Zona I	
El Hormiguero		
Navarro		
El Saladito	Zona II	
Felidia		
Golondrinas		
La Buitrera		
La Castilla		
La Elvira		
La Leonera		
La Paz		
Los Andes		
Montebello		
Pance		
Pichindé		
Villacarmelo		

Fuente: Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali, CVC, 2015

7.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS

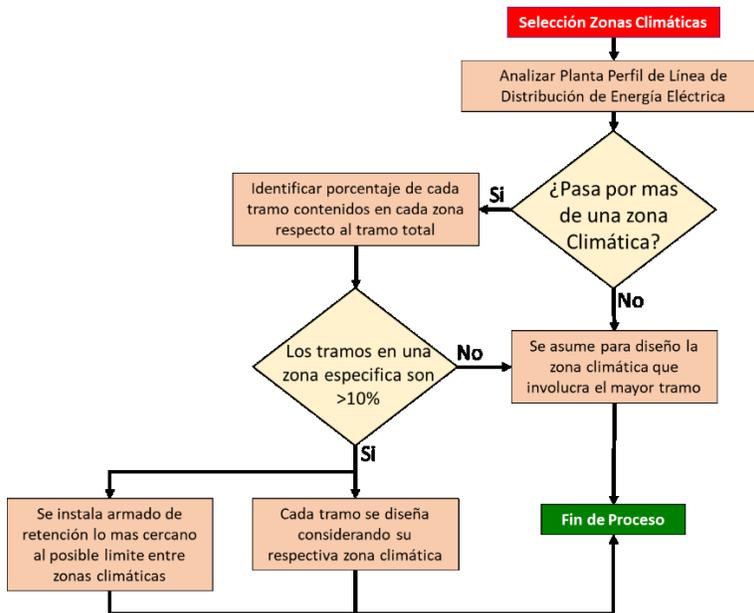


Figura 1. Criterios de selección de zonas climáticas

Si existen dudas e incertidumbres respecto a la selección de zona de viento, se seleccionará la zona de mayor exigencia.

8 CONFIGURACIONES DE CONJUNTOS

Las configuraciones objeto de la presente norma se consignan en la Tabla 4.

Tabla 4. Configuraciones de conjuntos de red semiaislada

Suspensión	Tangencial con espaciador y soporte antibalaceo, 1 circuito (ángulo 0° - 6°)
	Tangencial con cruceta en bandera y espaciador, 1 circuito (ángulo 0° - 6°)
	Tangencial con soporte angular en "C" y aislador pin, 1 circuito (ángulo 0° - 6°)
	Tangencial con espaciador y soporte antibalaceo, 2 circuitos (ángulo 0° - 6°)
	Cruceta en bandera y aislador pin , 1 circuitos (ángulo 0° - 6°)
Retención	Retención doble convencional
	Retención doble compacta
	Retención doble compacta en cruceta en bandera
Fin de circuito	Fin de circuito convencional
	Fin de circuito Compacto
Derivaciones y Subterranización	Derivación compacta - Subterranización
	Derivación compacta - Transformador



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

	Derivación compacta - Reconector
Curvas y Cruces	Curva compacta 30° - 90°
	Cruce compacto 90°

Espaciadores ubicados en intervalos de 9 m entre vanos según recomendaciones de proveedores.

9 CRITERIOS DE DISEÑO ELÉCTRICO

9.1 CONDUCTOR

Las características técnicas de los conductores semiaislados están consignadas en las especificaciones técnicas de materiales y equipos conductores semiaislados.

Para determinación la sección de los conductores, se precisa realizar un cálculo con base a tres (3) consideraciones:

a. Intensidad máxima admisible por el cable en servicio permanente

$$S_{cable} = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \theta}{K \cdot \Delta V}$$

$$S_{cable} = \frac{L \cdot P}{K \cdot \Delta V \cdot V_{L-L}}$$

Donde,

S	Potencia aparente en kVA.
V_{L-L}	Tensión línea a línea en kV.
I	Corriente de línea en A.
S_{cable}	Sección del cable en mm ² .
L	Longitud de la línea en km.
I	Corriente de línea en A.
Cos θ	Factor de potencia.
K	Conductividad eléctrica, 59,58 para el cobre y 37,67 para aluminio.
ΔV	Caída de tensión en kV (-10% máximo).

b. Intensidad máxima admisible en cortocircuito durante un tiempo determinado

$$S_{min} = \frac{1,2 * I_{cc} * \sqrt{t}}{k}$$

En la anterior ecuación, se considera un 20% adicional al nivel de cortocircuito y los siguientes datos:

I_{cc}	Corriente de cortocircuito en A.
t	Duración de la falla en s.



k Cobre: 142, Aluminio: 94.

c. Regulación de Tensión

$$V\% = S \cdot L \cdot \left[\frac{(R \cos \theta + X_L \sin \theta)}{10 \cdot (V_{L-L})^2} \right] \rightarrow V\% = M \cdot K$$

Donde:

- $\Delta V\%$ Regulación de tensión en %.
- M Momento eléctrico en kVA* km.
- K Constante de regulación (ver Anexo No.1).
- L Longitud de la línea en km.
- S Potencia aparente en kVA.
- R Resistencia del conductor por unidad de longitud en Ω/km .
- X_L Reactancia inductiva del conductor por unidad de longitud en Ω/km .
- θ Ángulo del factor de potencia del circuito en grados.
- V_{L-L} Voltaje nominal línea a línea en V.

• Resistencia

La resistencia total de la línea (por fase) se calcula a partir de la resistencia por unidad de longitud, que se encuentra en las tablas de características emitidas por los fabricantes y la respectiva longitud de la línea.

• Reactancia

En las líneas trifásicas, la reactancia inductiva en su expresión generalizada es:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_K$$
$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot n} + 2 \cdot \ln \frac{DMG}{RMG} \right) \cdot 10^{-4}$$

Donde:

- X_L Reactancia inductiva por unidad de longitud en Ω/km .
- f Frecuencia del sistema 60 Hz.
- L_k Coeficiente de autoinducción por fase por unidad de longitud en H/km.
- n Número de conductores por fase.
- DMG Distancia media geométrica entre ejes de fases, en mm (depende de la configuración de la línea).
- RMG Radio medio geométrico del grupo de conductores de la fase, en mm.



$$RMG = r \cdot K_{RMG}$$

Donde:

r Radio del conductor.

Tabla 5. Valores de constante RMG

Numero de Capas	# de Hilos del Conductor	K_{RMG}
1	1	0,389
2	7	0,363
3	19	0,371
4	37	0,378
5	61	0,381

9.1.1 Sección Económica

Se debe hacer el cálculo de la sección económica de conductores, lo cual combina los costos iniciales de compra e instalación con los costos de pérdida de energía que surgen durante la vida económica del conductor eléctrico, refiriendo los valores económicos a un mismo punto en el tiempo donde sean comparables. Cuanto menor sea la sección nominal de un conductor eléctrico, menor es su costo inicial de adquisición e instalación y mayor su costo operativo durante su vida útil.

El costo de las pérdidas de energía (operativa) del conductor eléctrico será determinado multiplicando el valor de las pérdidas por efecto Joule por el precio del kWh. Al aumentar la sección el costo de las pérdidas decrece, mientras que el costo de inversión e instalación aumenta. La sumatoria de estos dos comportamientos genera la curva de costo total para cada una de las secciones de conductor en estudio.

La curva del costo total presenta un punto de costo mínimo (\$) para una sección (mm^2) respectiva, denominándose esta como la sección económica de un circuito, la cual brinda el menor costo total de instalación y operación de un conductor eléctrico durante su vida económica considerada. El periodo de análisis debe ser a 25 años.

9.2 CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR

9.2.1 Limitada por la Corriente Máxima Soportada por el Conductor

La máxima potencia de transporte de una línea trifásica, limitada por la corriente máxima soportada, se determina mediante la siguiente expresión:



$$P_{max} = m \cdot \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{max} \cdot \cos \theta$$

Donde:

- P_{max} Potencia activa máxima a transportar en W.
 V_{L-L} Voltaje nominal línea a línea en V.
 I_{max} Corriente de línea en A.
 m Número circuitos en paralelo.
 θ Ángulo del factor de potencia del circuito en grados.

9.2.2 Limitada por la Regulación de Tensión

La máxima potencia de transporte de una línea trifásica, limitada por la regulación de tensión máxima establecida y la longitud de la línea, se determina mediante la siguiente expresión:

$$S_{max} = \left(\frac{10 \cdot (V_{L-L})^2}{(R \cos \theta + X_L \sin \theta)} \right) \cdot \frac{\Delta V\%}{L} \rightarrow S_{max} = K^{-1} \cdot \frac{\Delta V\%}{L}$$

$$P_{max} = K^{-1} \cdot \frac{\Delta V\%}{L \cdot \cos \theta}$$

Donde:

- S_{max} Potencia aparente máxima a transportar en kVA.
 $\Delta V\%$ Regulación de tensión en %.
 V_{L-L} Voltaje nominal línea a línea en V.
 I Corriente de línea en A.
 R Resistencia del conductor por unidad de longitud en Ω/km .
 X_L Reactancia inductiva del conductor por unidad de longitud en Ω/km .
 θ Ángulo del factor de potencia del circuito en grados.
 L Longitud de la línea en km.
 K^{-1} Constante de potencia máxima (ver Anexo No.2).
 P_{max} Potencia activa máxima a transportar en kW.

9.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA

Las pérdidas de potencia serán producto del efecto Joule causado por la resistencia de la misma ante la circulación de corriente. En una línea trifásica, éstas se calculan de la siguiente manera:



$$\Delta P\% = P \cdot L \cdot \left(\frac{R}{10 \cdot V_{L-L}^2 \cdot (\cos \theta)^2} \right) [\%] \rightarrow \Delta P\% = P \cdot L \cdot K_{\Delta P}$$

Donde:

- P Potencia activa a transportar en kW.
L Longitud de la línea en km.
R Resistencia de la línea por unidad de longitud en Ω/km .
 V_{L-L} Voltaje nominal línea a línea en kV.
 θ Ángulo del factor de potencia del circuito en grados.
 $K_{\Delta P}$ Constante de pérdidas (ver Anexo No.3).

9.4 DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Para las distancias mínimas de seguridad de las redes semiaisladas se adopta lo contenido en el Artículo 13 del RETIE en su versión más reciente.

9.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La línea de distribución de energía eléctrica debe disponer de un sistema de puesta a tierra, de forma que cualquier punto normalmente accesible a personas, no esté sometido a tensiones superiores a los umbrales de la capacidad de soporte del ser humano. Este requerimiento cubre los apoyos y conjuntos que ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial entre la estructura puesta a tierra y la red.

El diseño del sistema de puesta a tierra para las redes de distribución de energía debe atender los requerimientos consignados en el Artículo 15 del RETIE y seguir los procedimientos de la IEEE 80, ambos en su versión más reciente.

Para las redes aéreas de media tensión se deberá aterrizar en cada apoyo el cable de guarda y garantizar un valor de puesta a tierra menor de 20Ω (RETIE, Artículo 15.4 Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra, Tabla 15.4).

La selección del conductor a tierra depende del valor de la corriente de cortocircuito de régimen transitorio a 150 m en el punto de instalación de la puesta a tierra. Este valor será suministrado por **EMCALI**

El conductor a seleccionar debe cumplir la siguiente ecuación:

$$I_{cc} \leq I_{cc_adm}$$

Donde:



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

I_{cc} Intensidad de cortocircuito en el punto de instalación de la puesta a tierra (kA).

I_{cc_adm} Intensidad de cortocircuito máxima admisible del conductor (kA) (ver Tabla 6).

Tabla 6. Características de conductor de puesta a tierra

Característica	Cable Cooper Clad Steel 3/8"	Acero Galvanizado 3/8"
Sección transversal total (mm ²)	58,56	51,1
Diámetro (mm)	9,8	9,52
Conductividad (%)	30	8,5
Temperatura de fusión (°C)	1084	419
Corriente de cortocircuito admisible máxima (kA)	20,38	8,99

Para la selección del electrodo de puesta a tierra se deberá medir la resistividad aparente del terreno, con la cual se procederá a seleccionar la configuración para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra que debe ser menor a 20 Ω.

Tabla 7. Configuración de puesta a tierra para líneas aéreas de distribución

Configuración	Protección	Resistividad del Terreno ρ (Ω/m)	Resistencia de Puesta a Tierra R_{PAT} (Ω)
	Cable de guarda	56	$R_{PAT} = \frac{\rho}{2,79}$
	DPS	28	
	Cable de guarda	124	$R_{PAT} = 0,16 \cdot \rho$
	DPS	62	
	Cable de guarda	166	$R_{PAT} = 0,12 \cdot \rho$
	DPS	83	

Para suelos con valores de resistividad aparente superior a los valores definidos en la Tabla 7, el diseñador debe establecer en la memoria de cálculo del proyecto un procedimiento reconocido por la



práctica de la ingeniería actual para la obtención del valor de resistencia de puesta a tierra normalizado, seleccionar la opción más viable para el proyecto, dependiendo de las características del terreno y las características técnicas del equipo a proteger.

Como última opción se permite utilizar suelo artificial para suelos con muy alta resistividad. El diseñador tendrá en cuenta las siguientes recomendaciones para reducir el valor de la resistencia de puesta a tierra:

1. Reducción del valor de resistencia de puesta a tierra aplicando un material acondicionador, entre los cuales se cuenta la bentonita sódica, sulfato de magnesio, sulfato de cobre o cloruro de calcio.
2. La utilización de suelos importados o naturales deben cumplir las siguientes características mínimas:
 - Fácil de aplicar.
 - No poner en riesgo a quienes lo manipulen o a los animales. No debe dañar los suelos naturales donde sea aplicado.
 - Retención de la mayor cantidad de humedad durante el mayor tiempo posible. No debe requerir hidratación previa con agitación.
 - Insoluble en agua.
 - Alta capacidad de intercambio catiónico.
 - Poco alterable con el tiempo.
 - Que los procesos químicos originados durante la mezcla sean reversibles.
3. Cuando existan altos valores de resistividad del terreno, elevadas corrientes de falla a tierra o prolongados tiempos de despeje de las mismas y no sea posible cumplir con el valor de la resistencia de puesta a tierra establecida, se deberán tomar las medidas establecidas en el Artículo 15.4 del RETIE.

9.6 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El diseño de los sistemas de protección contra rayos para líneas las líneas de distribución de energía estará basado en la serie de normas NTC 4552 “Protección contra rayos” y que ha sido adaptado para su aplicación en líneas aéreas de media tensión.

- NTC 4552-1: Principios Generales.
- NTC 4552-2: Manejo del Riesgo.

- NTC 4552-3: Daños Físicos a Estructuras y Amenazas a la Vida.

A continuación se presentan brevemente en la Figura 2 para las redes de distribución, el diagrama de proceso para la decisión de necesidad de protección y de selección de las medidas de protección.

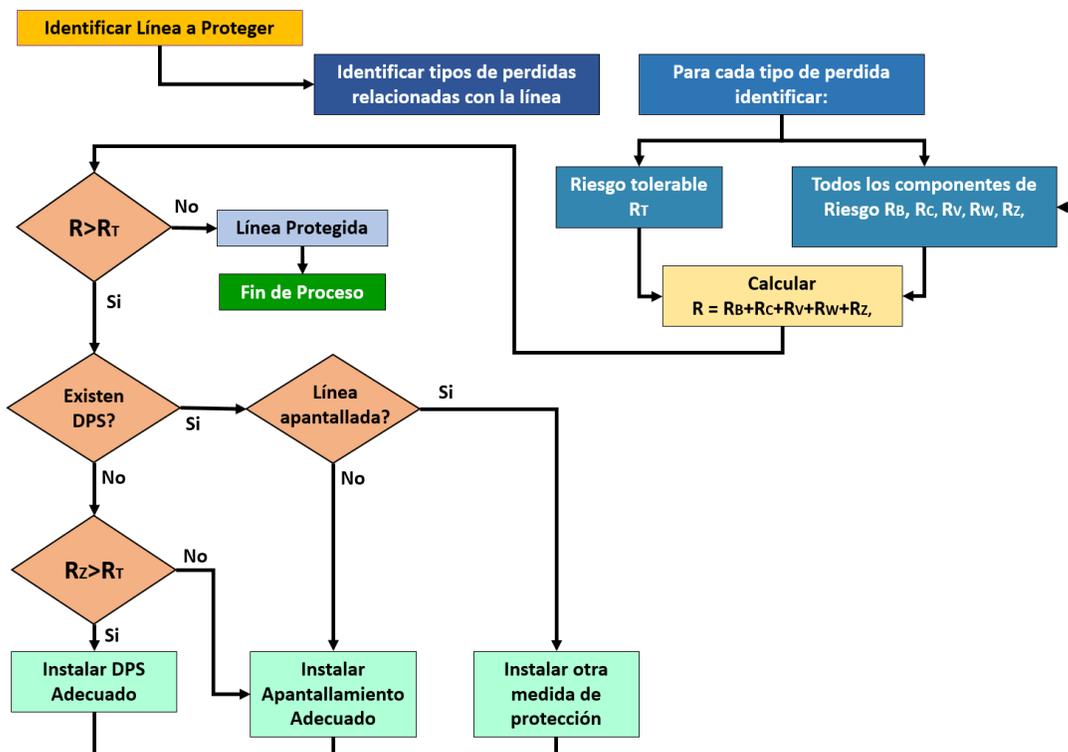


Figura 2. Procedimiento para selección de medidas de protección contra descargas atmosféricas

Cuando se reduzcan las distancias entre fases, se deben utilizar separadores para mantener el espacio entre ellos. Los conductores del mismo circuito de una red compacta con cables cubiertos o semiaislados, no deben tener una separación menor a 18 cm para tensiones menores de 15 kV, ni menor a 27 cm para tensiones entre 15 kV y 34,5 kV.

10 CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO

El cálculo mecánico tiene como objetivo determinar las tensiones mecánicas a los que estarán expuestos los componentes de la línea para los distintos regímenes de carga y condiciones climáticas, buscando evitar fatigas y daños que pongan en riesgo la seguridad y la continuidad del suministro de energía eléctrica, obteniendo un equilibrio técnico económico entre longitud de vanos y dimensionamiento de postes.



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Las líneas de distribución compactas con conductores semiaislados deberán abordar los siguientes análisis:

- Cálculo mecánico de conductores.
- Cálculo mecánico de aisladores y herrajes.
- Cálculo de amortiguadores.
- Cálculo mecánico de apoyos.
- Plantillado.
- Tabla de cálculo mecánico.
- Tabla de tendido.

Estos análisis listados se deben abordar conforme al Capítulo 3. Redes de Distribución, de la Norma de Diseño de Media y Baja Tensión.

En los Anexos No.4 al Anexo No.9, se presentan los resultados de cálculos mecánicos para líneas de distribución de energía con cable semiaislada para las tensiones de 13,2 kV y 34,5 kV. Asumiendo un trazado recto, uniforme y nivelado sobre vías carretables, con los siguientes parámetros de entrada:

Condiciones Ambientales

Altura sobre nivel del mar	1100	m
Temperatura ambiental mínima	10	°C
Temperatura ambiental media	20	°C
Temperatura ambiental máxima	30	°C
Temperatura de trabajo	60	°C
Velocidad del viento	100	km/h

Tipo rugosidad terreno	4
Factor topografía	0,9
Factor terreno	0,69
Factor seguridad	1,05
Factor densidad aire	0,83
Factor Kv	0,54

Seleccione Topografía:

Laderas, cimas o valles expuestas	
Valles encerrados protegidos de viento	<input checked="" type="checkbox"/>
Otro casos	

Seleccione Terreno:

Campos abiertos sin obstrucciones	
Campos abiertos con vallas	
Campos con muchas vallas, pueblos o afueras de ciudades	
Zonas grandes y frecuentes obstrucciones, centros de ciudad	<input checked="" type="checkbox"/>



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Condiciones de Análisis

Condición	Viento (km/h)		Temperatura (°C)		Criterio permisible
Inicial	Sin Viento	0	Mínima Promedio	19	$T_C < 33\% T_R$
Tensión máxima	Viento Máximo	100	Mínima Promedio	19	$T_C < 50\% T_R$
Flecha máxima	Sin Viento	0	Máxima Conductor	75	$T_C < 50\% T_R$
Diaria EDS	Sin Viento	0	Promedio	28	$T_C < 20\% T_R$

Datos Conductor

Nivel de Tensión

13,2 kV

Calibre Conductor

2

1/0

4/0

266,8

Tipo Conductor

ACSR

ACSR

ACSR

ACSR

Sección Conductor

mm²

33,60

53,56

107,36

126,13

Diámetro Completo Conductor

mm

17,60

19,60

23,80

25,00

Carga Rotura Conductor

kgf

1.290

1.985

3.787

3.122

Coefficiente Dilatación Lineal

1/ °C

1,89E-05

1,89E-05

1,89E-05

2,12E-05

Modulo Elasticidad

kg/mm²

8.400

8.400

8.400

7.074

Peso Propio Conductor

kg/m

0,321

0,437

0,729

0,732

Factor K_{øc}

0,7

0,7

0,7

0,7

Presión del Viento

kg/m

0,467

0,520

0,631

0,663

PesoTotal Conductor

kg/m

0,566

0,679

0,964

0,988

Datos Conductor

Nivel de Tensión

34,5 kV

Calibre Conductor

1/0

4/0

266,8

477

Tipo Conductor

ACSR

ACSR

ACSR

ACSR

Sección Conductor

mm²

53,56

107,36

126,13

242,00

Diámetro Completo Conductor

mm

27,20

31,40

32,60

34,94

Carga Rotura Conductor

kgf

1.985

3.787

3.122

7.801

Coefficiente Dilatación Lineal

1/ °C

1,89E-05

1,89E-05

2,12E-05

2,12E-05

Modulo Elasticidad

kg/mm²

8.400

8.400

7.074

7.074

Peso Propio Conductor

kg/m

0,595

0,918

0,929

1,517

Factor K_{øc}

0,7

0,7

0,7

0,7

Presión del Viento

kg/m

0,721

0,833

0,865

0,927

Peso Total Conductor

kg/m

0,935

1,239

1,269

1,778



11 ANEXO No.1. TABLAS CONSTANTE DE REGULACIÓN K



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

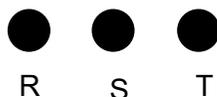
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

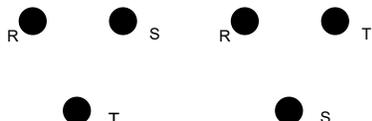
Tabla 8. Constantes de regulación para 13,2 kV



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	6,49E-04	6,56E-04	6,28E-04
ACSR	1/0	4,52E-04	4,48E-04	4,12E-04
ACSR	4/0	2,82E-04	2,70E-04	2,27E-04
ACSR	266,8	2,10E-04	1,95E-04	1,49E-04



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	6,79E-04	6,77E-04	6,28E-04
ACSR	1/0	4,82E-04	4,69E-04	4,12E-04
ACSR	4/0	3,12E-04	2,92E-04	2,27E-04
ACSR	266,8	2,40E-04	2,16E-04	1,49E-04



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	6,65E-04	6,67E-04	6,28E-04
ACSR	1/0	4,67E-04	4,59E-04	4,12E-04
ACSR	4/0	2,98E-04	2,82E-04	2,27E-04
ACSR	266,8	2,26E-04	2,06E-04	1,49E-04

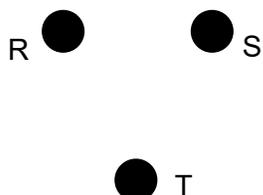


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

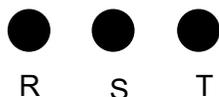
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

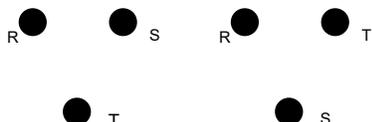
Tabla 9. Constantes de regulación para 34,5 kV



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	6,52E-05	6,50E-05	6,02E-05
ACSR	266,8	3,00E-05	2,80E-05	2,18E-05
ACSR	477	1,98E-05	1,78E-05	1,22E-05



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	6,96E-05	6,81E-05	6,02E-05
ACSR	266,8	3,44E-05	3,11E-05	2,18E-05
ACSR	477	2,42E-05	2,09E-05	1,22E-05



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	6,75E-05	6,66E-05	6,02E-05
ACSR	266,8	3,23E-05	2,96E-05	2,18E-05
ACSR	477	2,21E-05	1,94E-05	1,22E-05



12 ANEXO No.2. TABLAS CONSTANTE DE POTENCIA MÁXIMA K-1

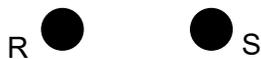


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

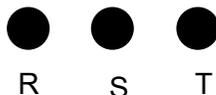
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

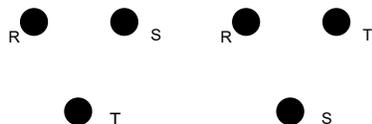
Tabla 10. Constantes de potencia máxima para 13,2 kV



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K^{-1}		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	1,541E+03	1,525E+03	1,591E+03
ACSR	1/0	2,215E+03	2,232E+03	2,430E+03
ACSR	4/0	3,546E+03	3,697E+03	4,400E+03
ACSR	266,8	4,765E+03	5,133E+03	6,727E+03



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K^{-1}		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	1,473E+03	1,477E+03	1,591E+03
ACSR	1/0	2,076E+03	2,131E+03	2,430E+03
ACSR	4/0	3,204E+03	3,428E+03	4,400E+03
ACSR	266,8	4,166E+03	4,628E+03	6,727E+03



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K^{-1}		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	1,473E+03	1,477E+03	1,591E+03
ACSR	1/0	2,076E+03	2,131E+03	2,430E+03
ACSR	4/0	3,204E+03	3,428E+03	4,400E+03
ACSR	266,8	4,166E+03	4,628E+03	6,727E+03

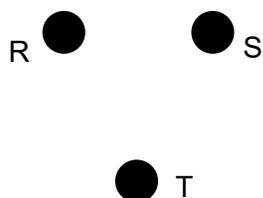


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

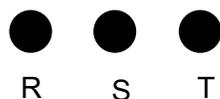
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

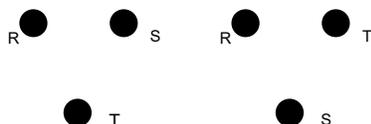
Tabla 11. Constantes de potencia máxima para 34,5 kV



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K^{-1}		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	1,534E+04	1,540E+04	1,660E+04
ACSR	266,8	3,335E+04	3,571E+04	4,596E+04
ACSR	477	5,058E+04	5,625E+04	8,209E+04



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K^{-1}		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	1,437E+04	1,469E+04	1,660E+04
ACSR	266,8	2,907E+04	3,215E+04	4,596E+04
ACSR	477	4,135E+04	4,788E+04	8,209E+04



Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor K^{-1}		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	1,481E+04	1,502E+04	1,660E+04
ACSR	266,8	3,094E+04	3,373E+04	4,596E+04
ACSR	477	4,524E+04	5,149E+04	8,209E+04



13 ANEXO No.3. TABLAS CONSTANTE DE PERDIDAS $K_{\Delta P}$



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 12 Constante de pérdidas para 13,2 kV

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor $K\Delta P$		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	2	7,759E-04	6,963E-04	6,284E-04
ACSR	1/0	5,080E-04	4,560E-04	4,115E-04
ACSR	4/0	2,806E-04	2,518E-04	2,273E-04
ACSR	266,8	1,835E-04	1,647E-04	1,486E-04

Tabla 13. Constante de pérdidas para 34,5 kV

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Factor $K\Delta P$		
		Factor de potencia		
		0,9	0,95	1
ACSR	1/0	7,437E-05	6,675E-05	6,024E-05
ACSR	266,8	2,686E-05	2,411E-05	2,176E-05
ACSR	477	1,504E-05	1,350E-05	1,218E-05

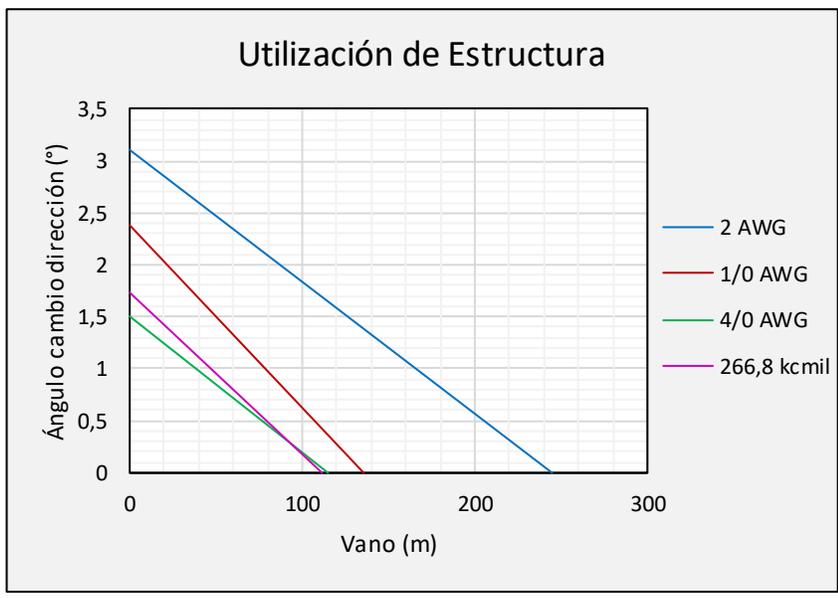
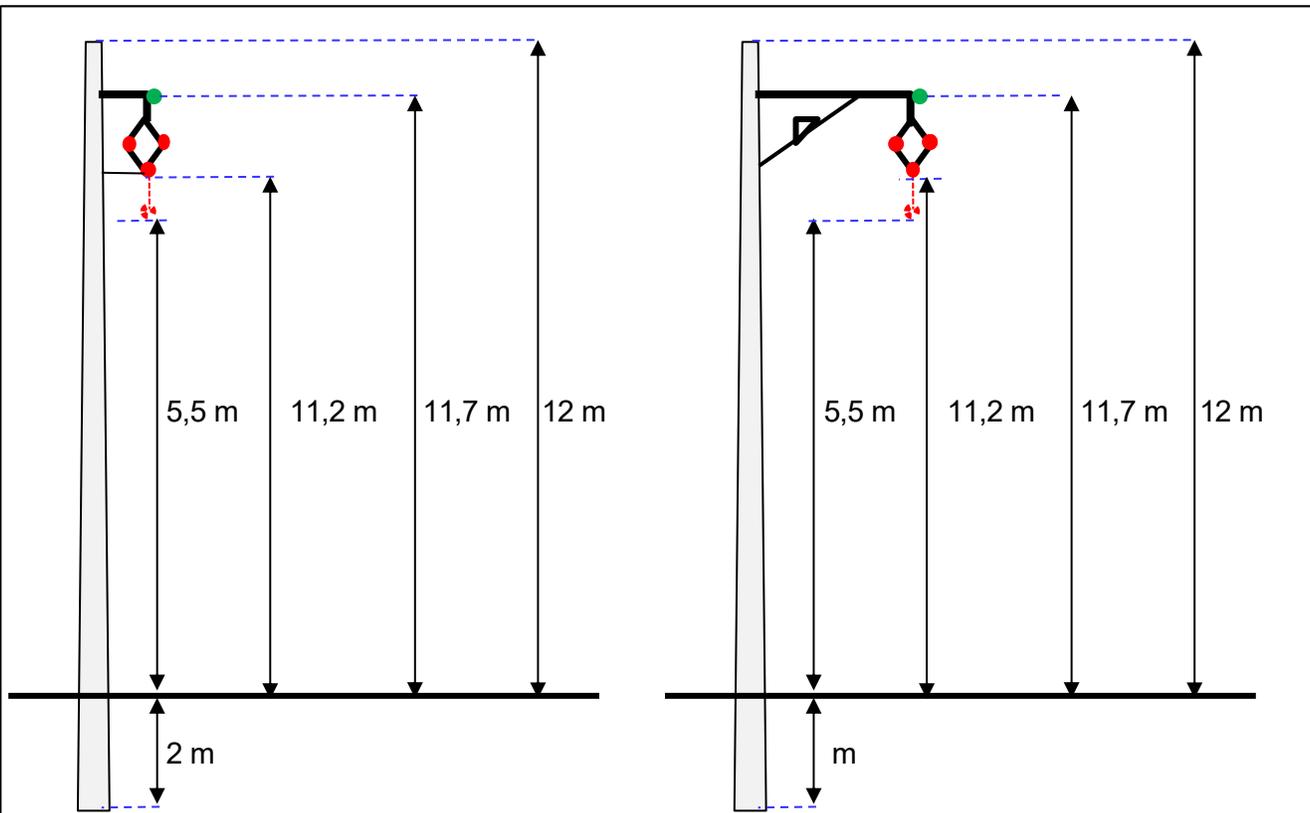


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

14 ANEXO No.4. CURVA DE USO DE POSTES 14 m - 1050 kg - 13,2 kV

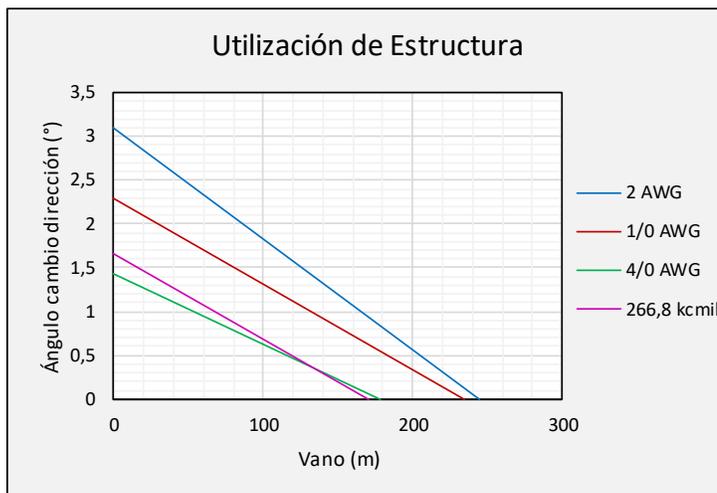
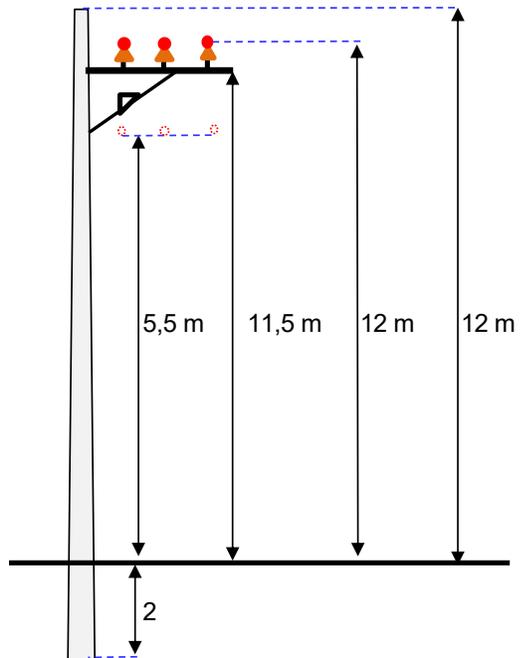




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1





NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

15 ANEXO No.5. CÁLCULO MECÁNICO 13,2 kV

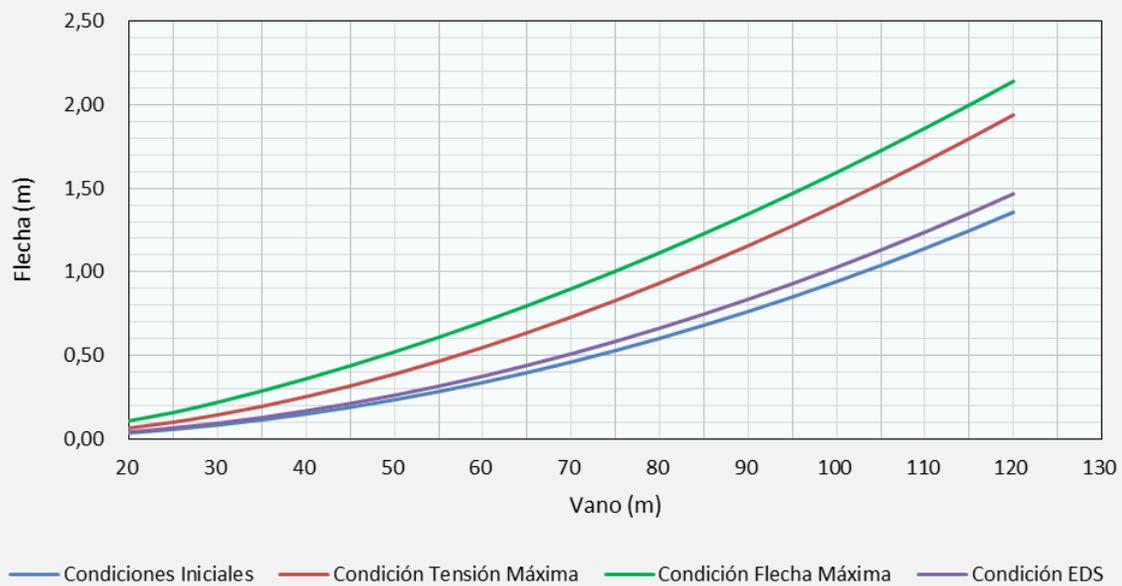


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

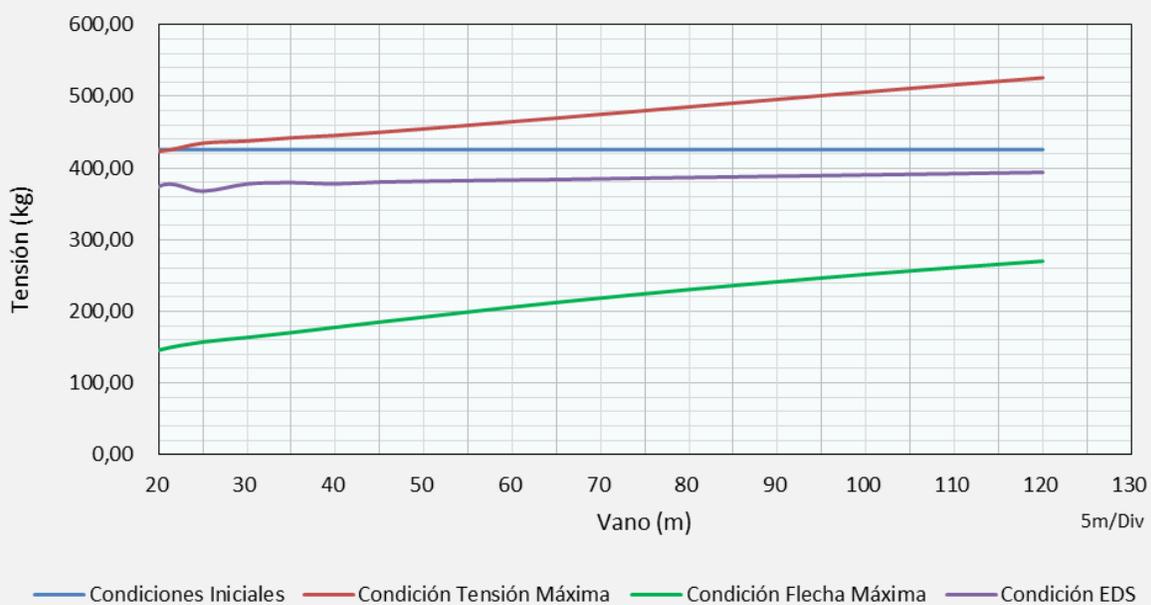
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Curva de Flecha - Semiaislado ACSR 2 AWG - 15 kV



Curva de Tendido - Semiaislado ACSR 2 AWG - 15 kV

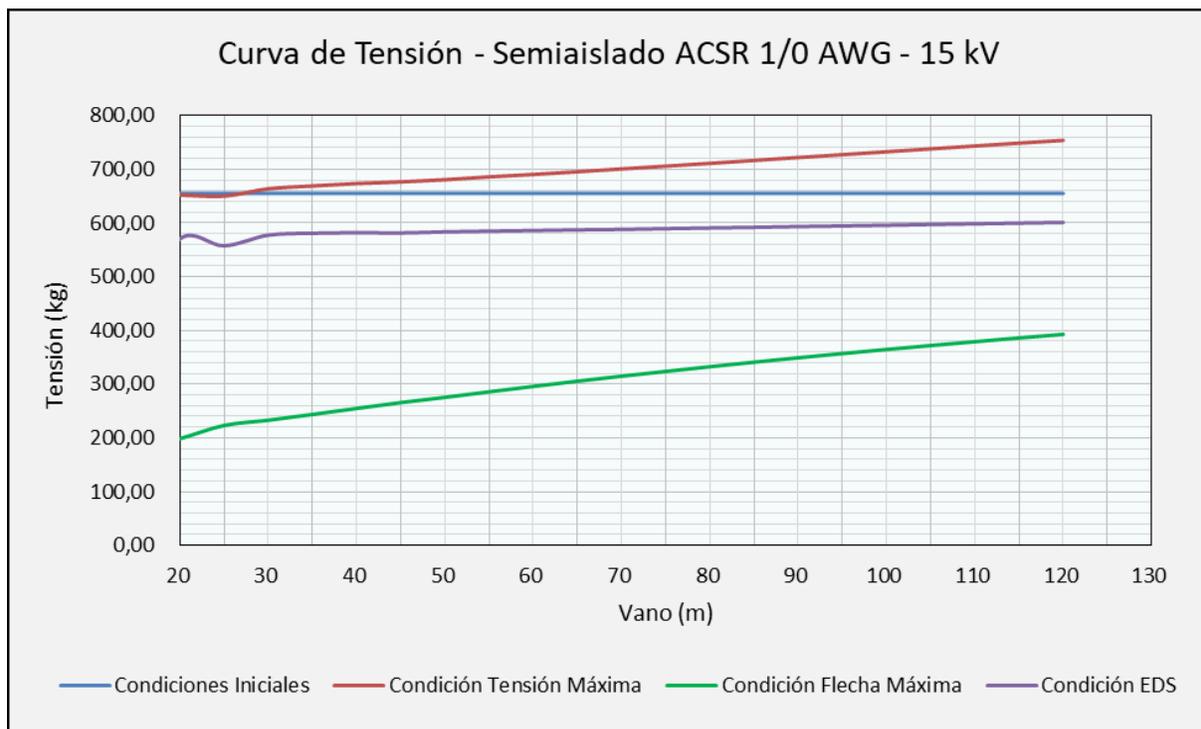
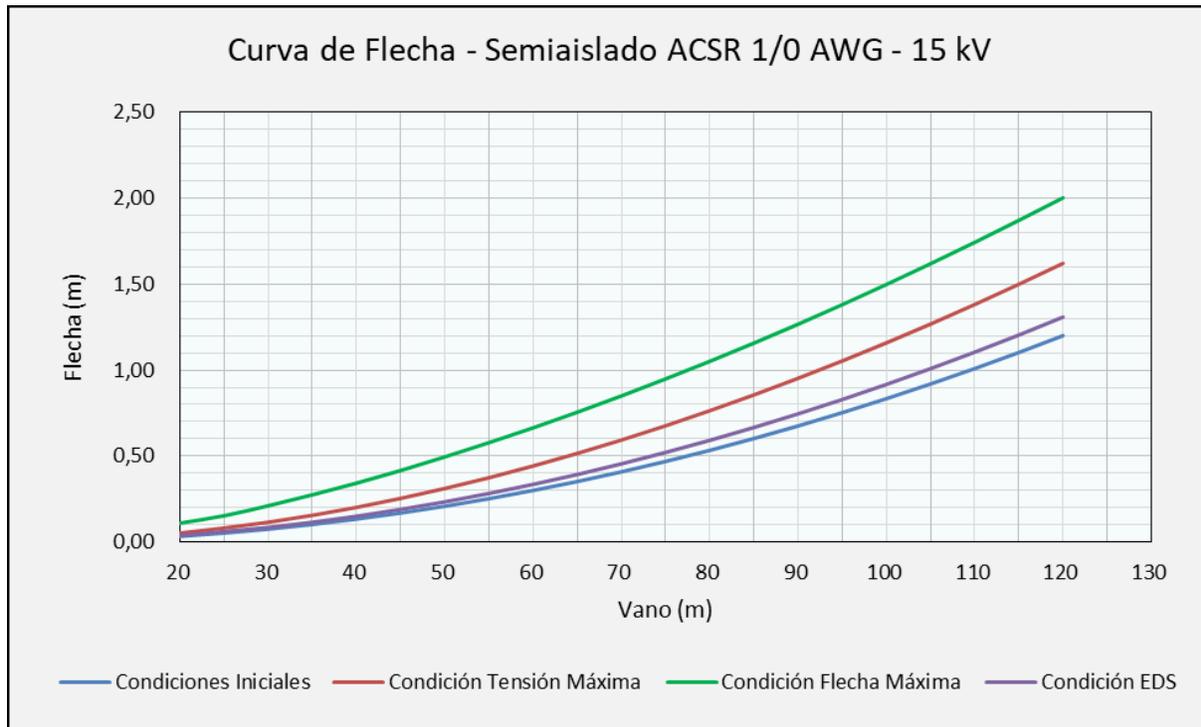




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1



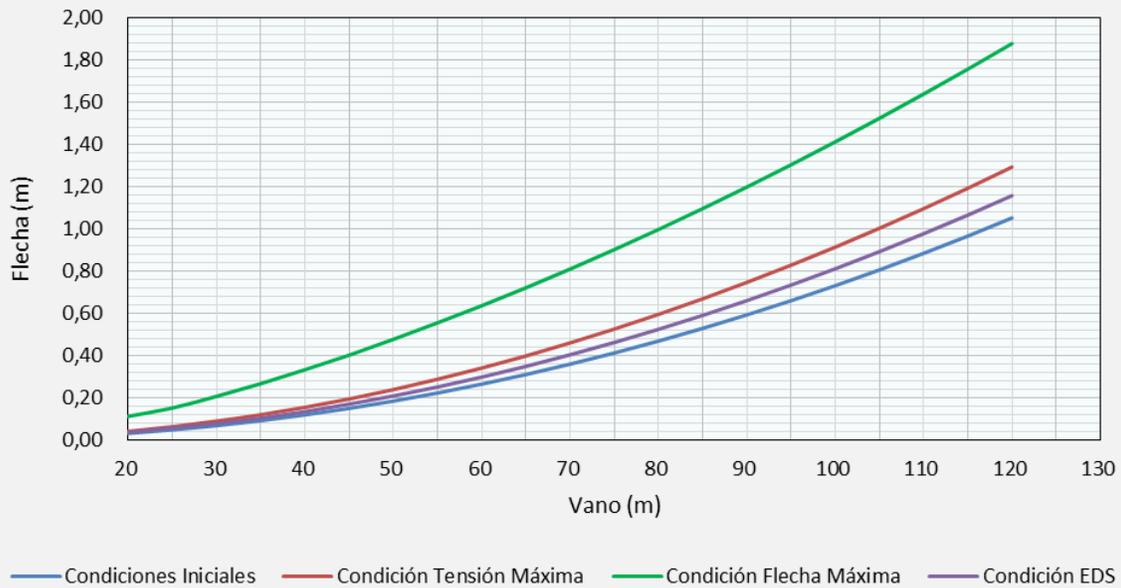


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

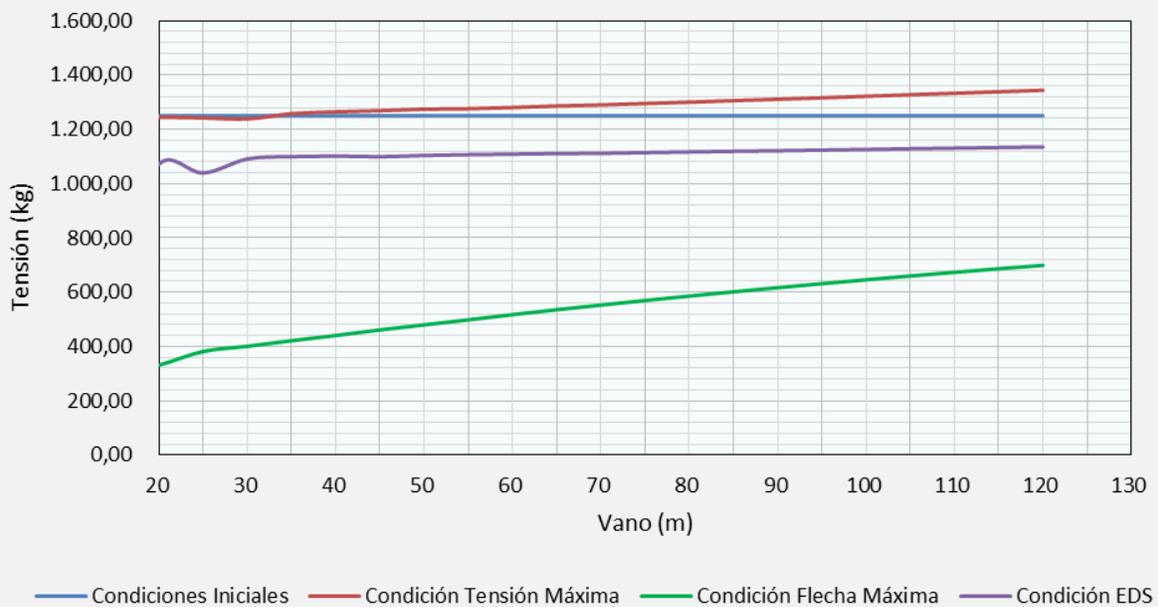
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Curva de Flecha - Semiaislado ACSR 4/0 AWG - 15 kV



Curva de Tensión - Semiaislado ACSR 4/0 AWG - 15 kV



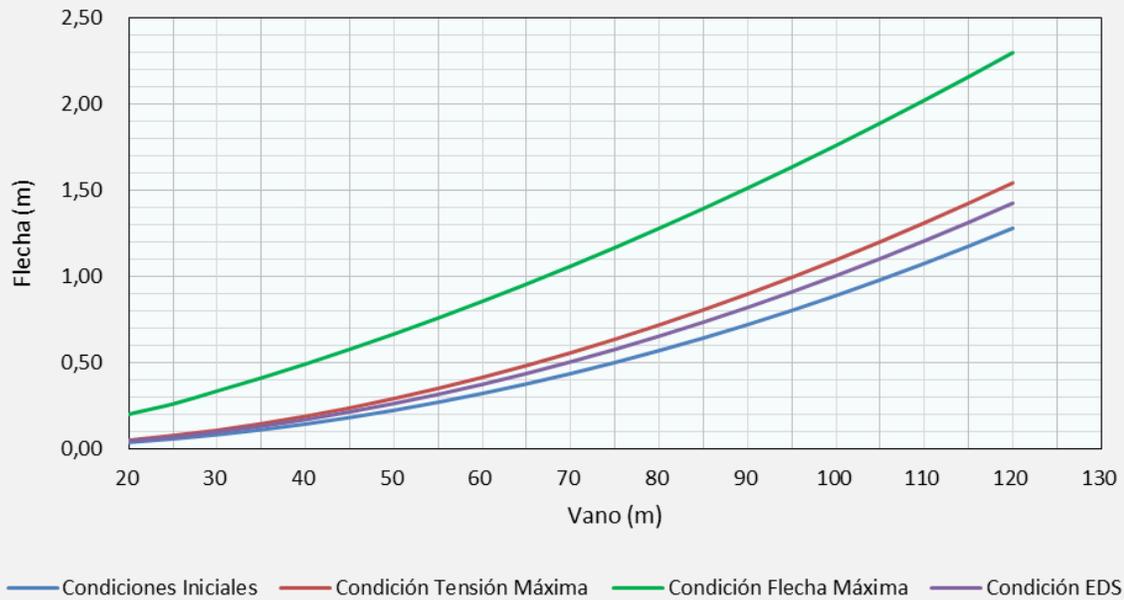


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

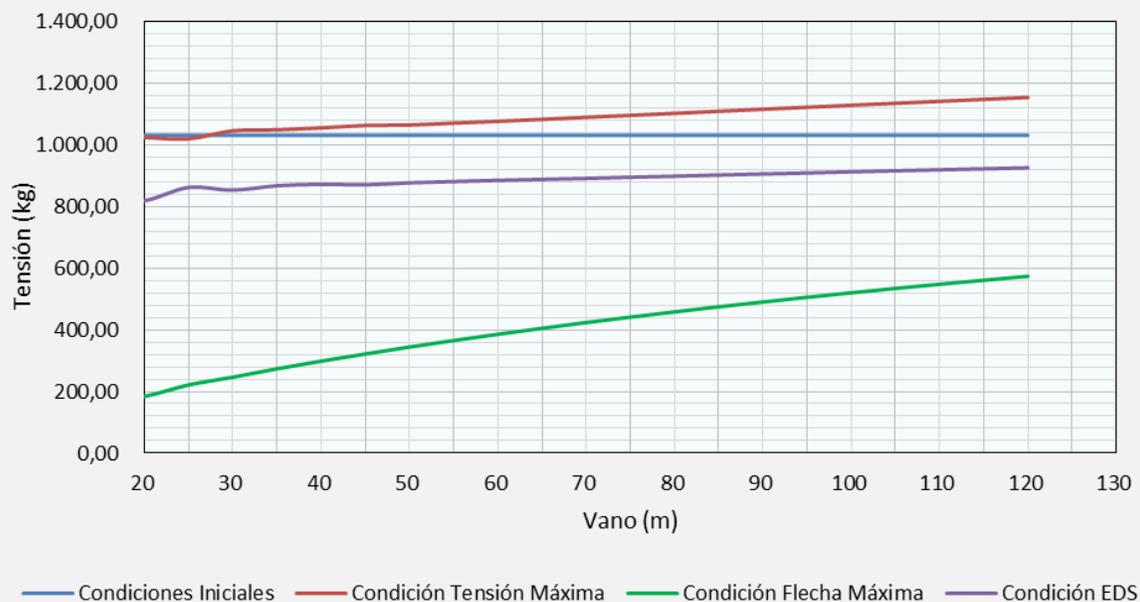
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Curva de Flecha - Semiaislado ACSR 266,8 kcmil - 15 kV



Curva de Tensión - Semiaislado ACSR 266,8 kcmil - 15 kV





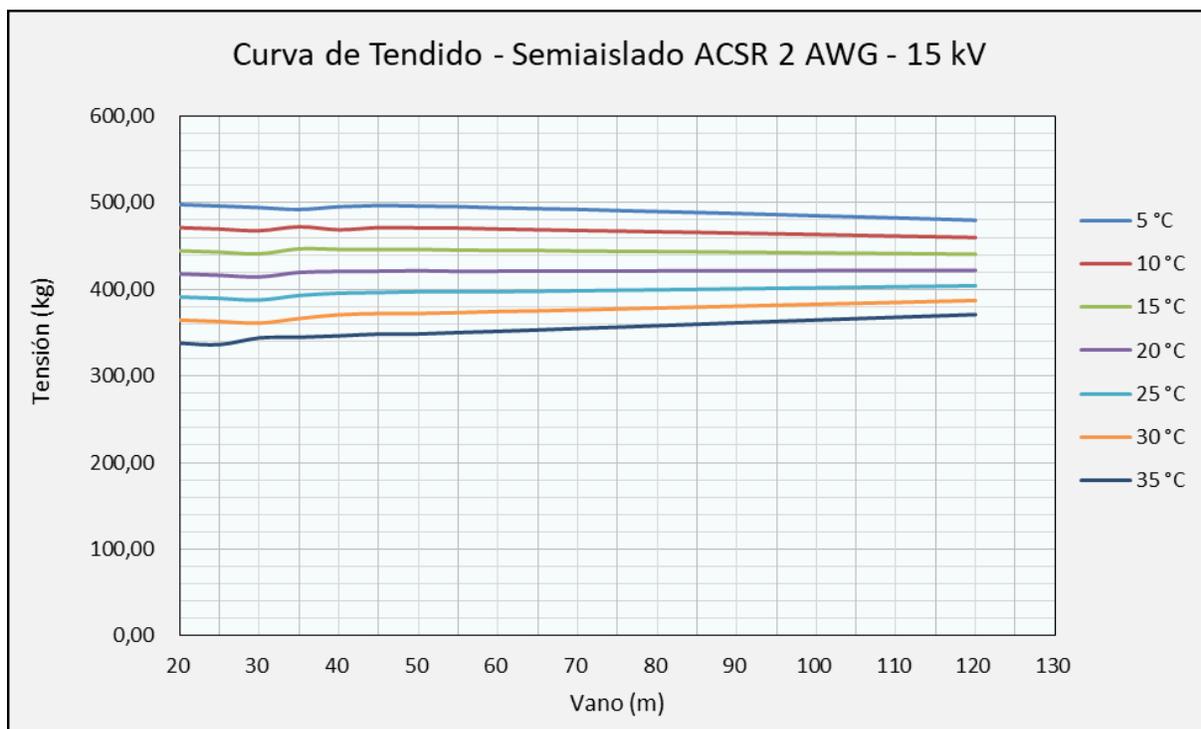
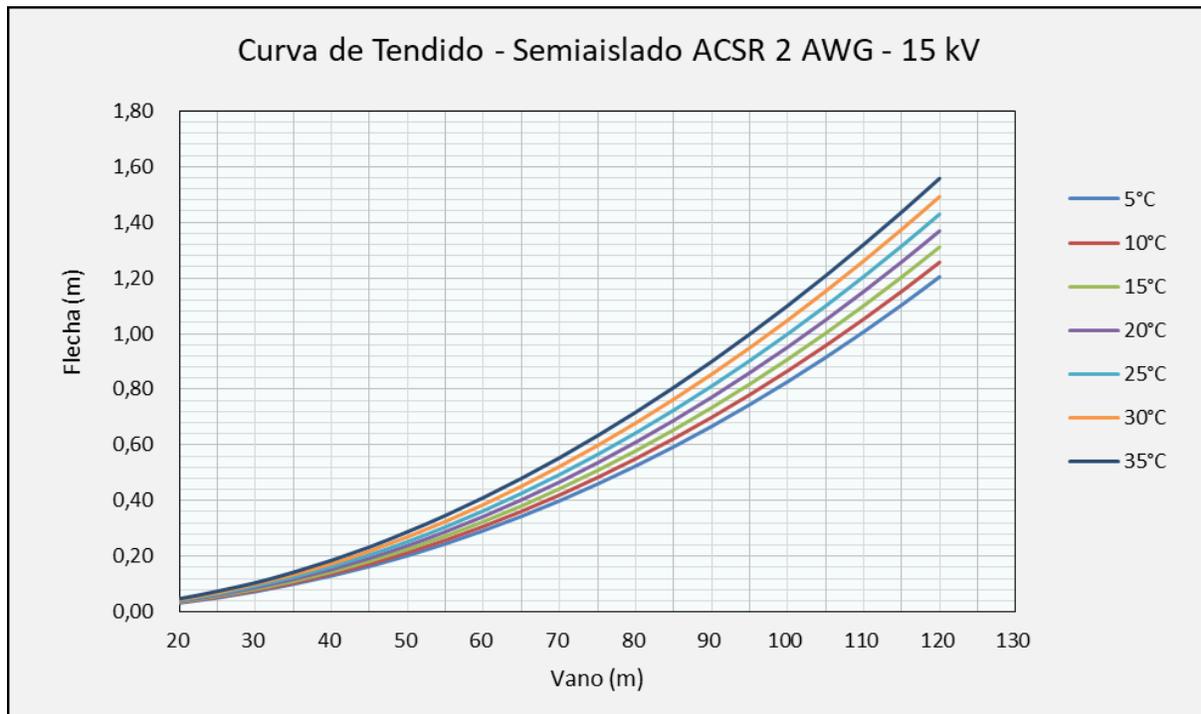
16 ANEXO No.6. CURVAS DE TENDIDO 13,2 kV



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

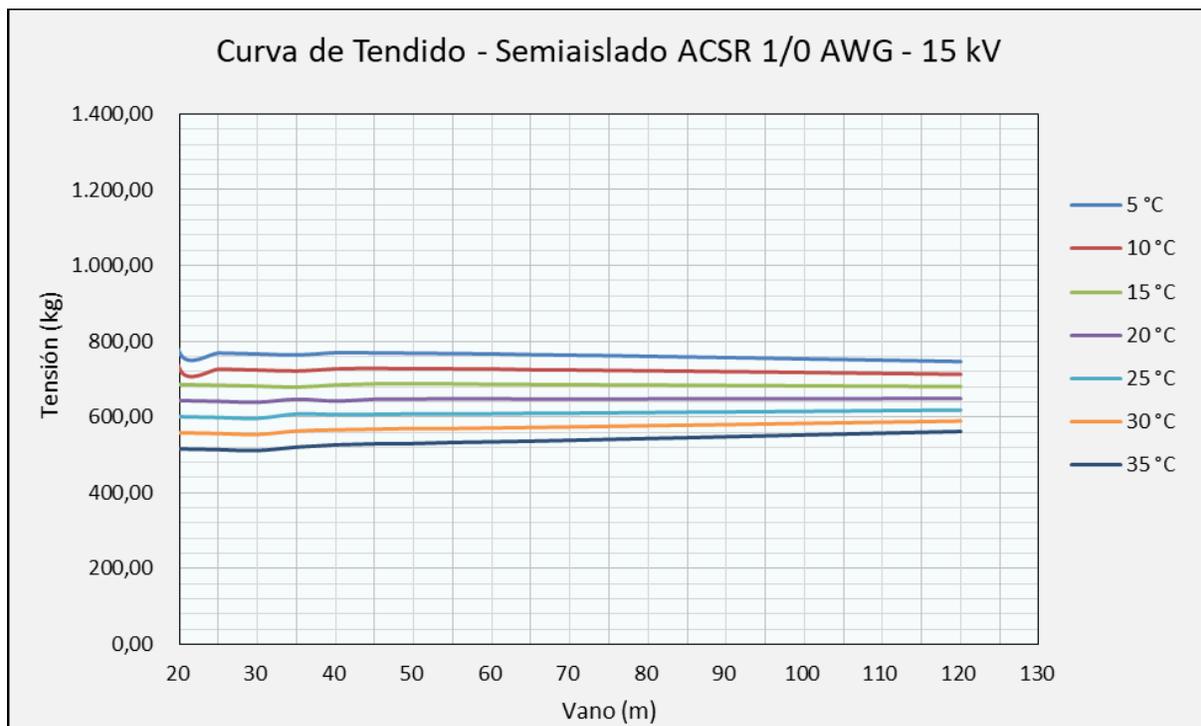
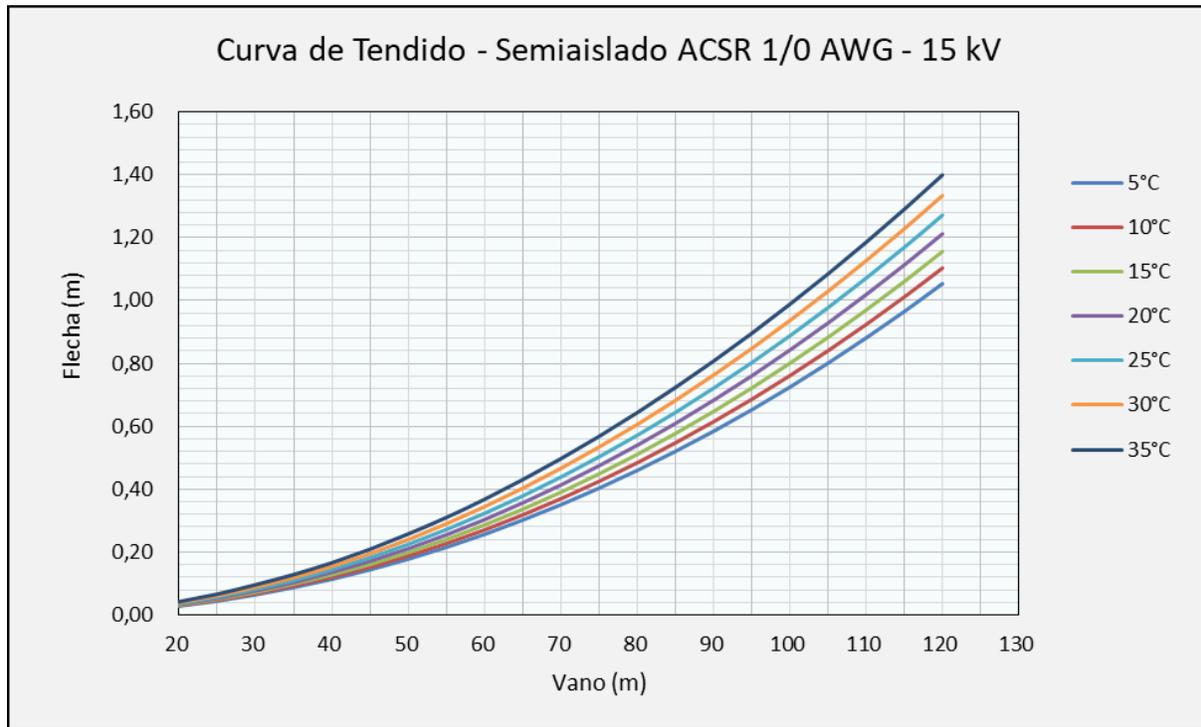




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

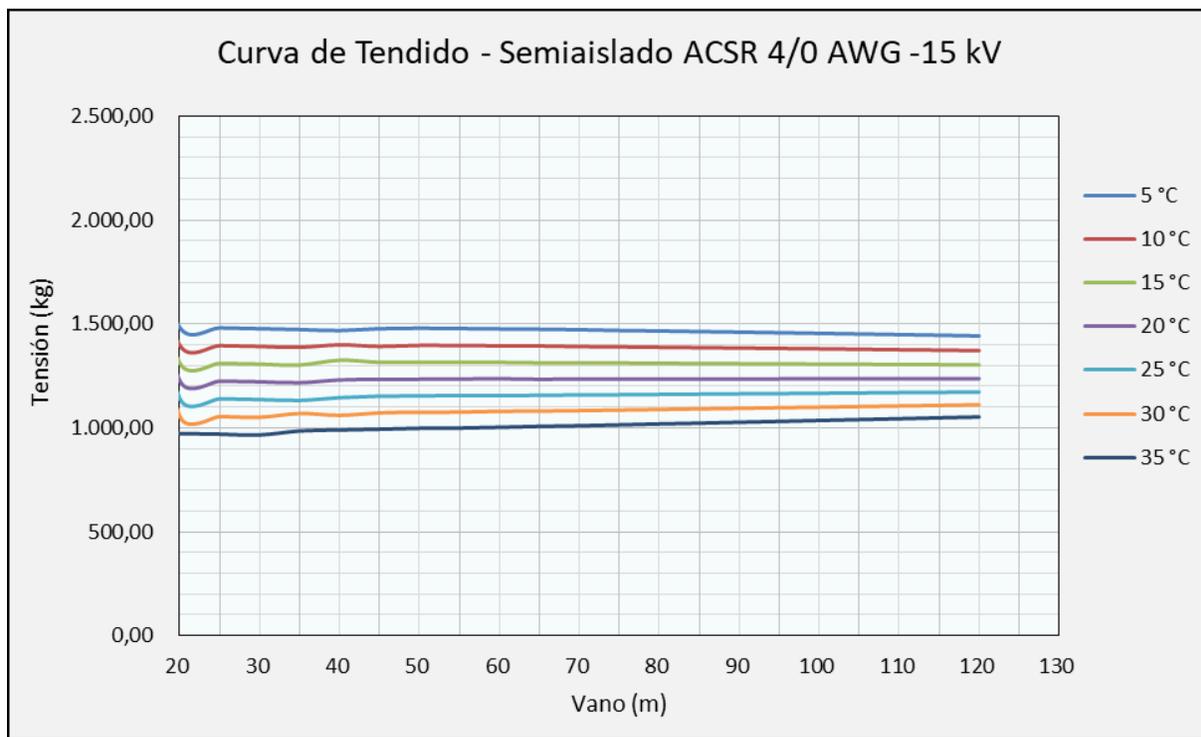
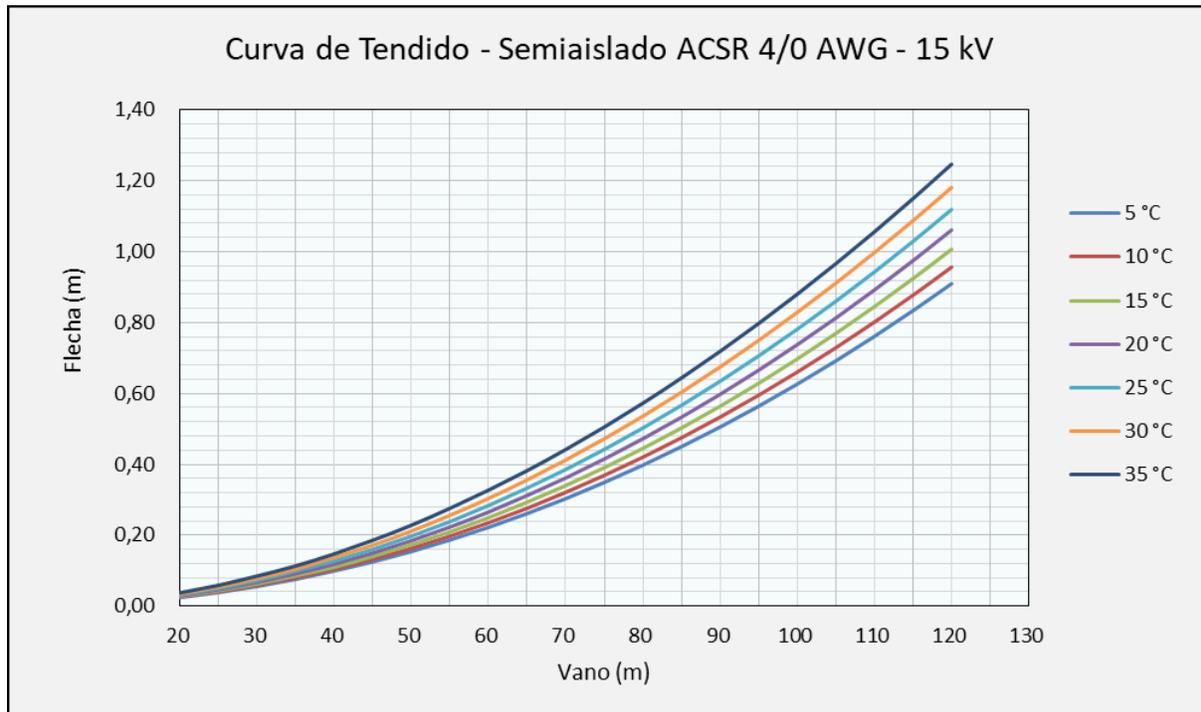




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

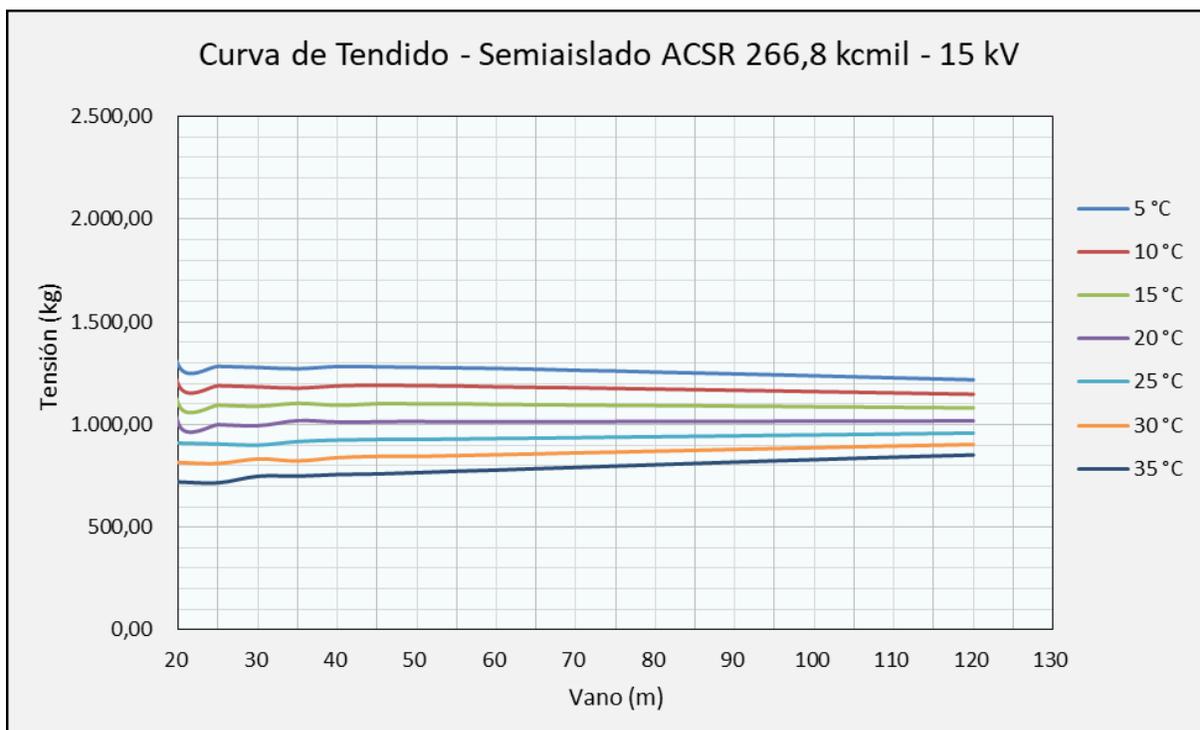
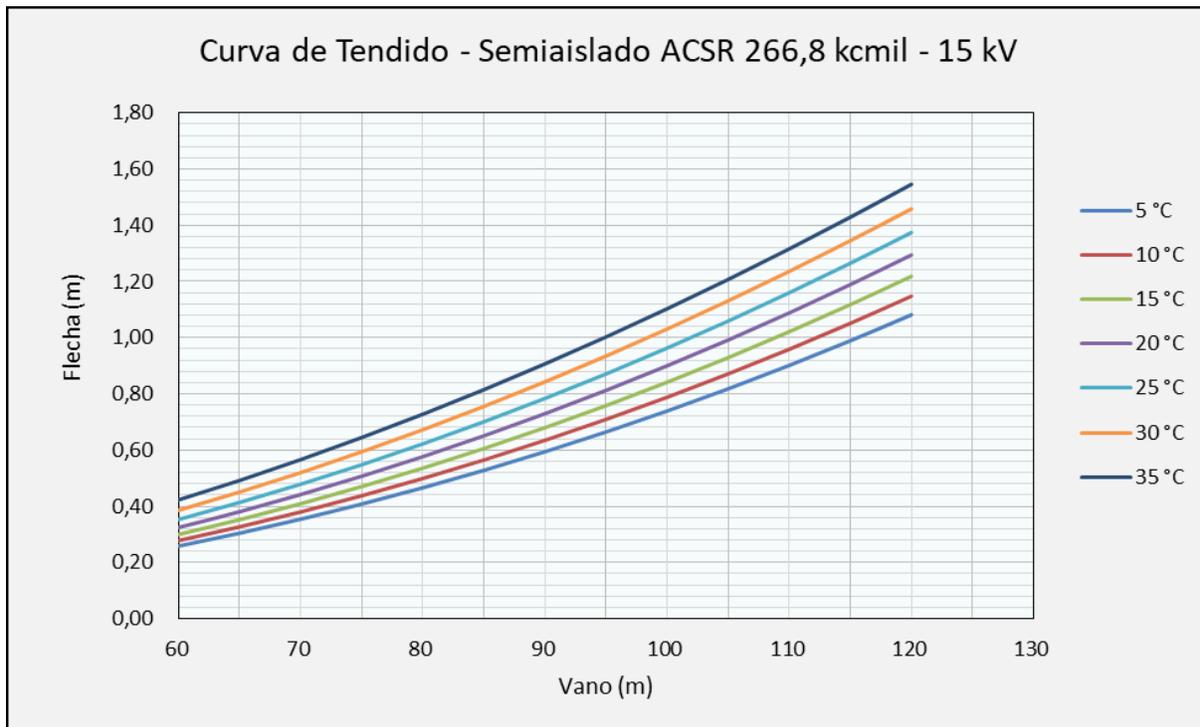




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1





NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

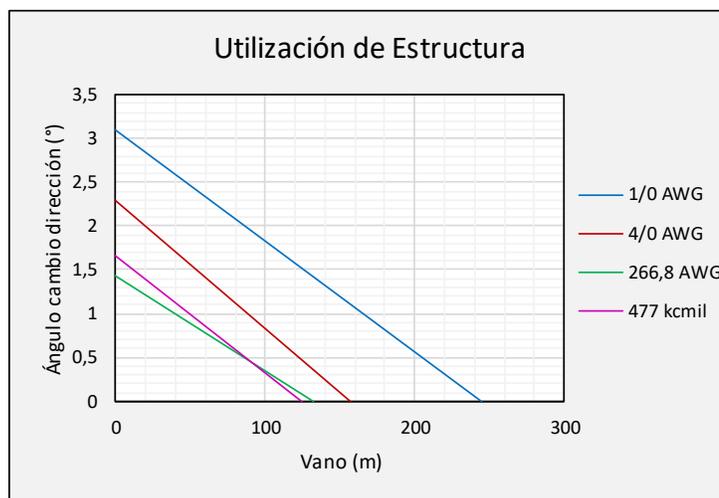
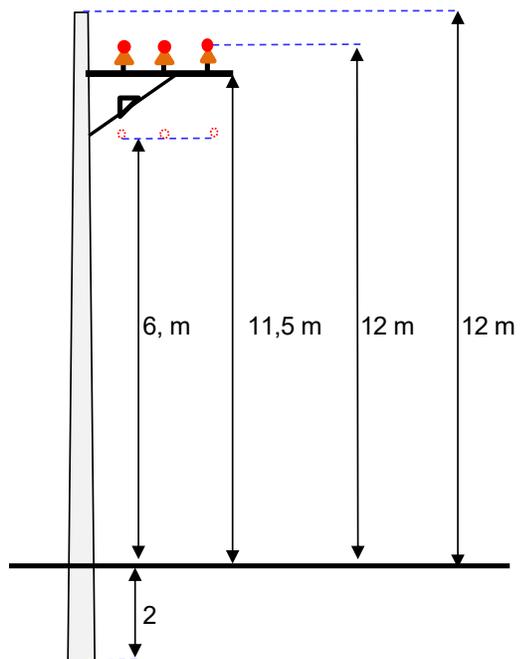
17 ANEXO No.7. CURVA DE USO DE POSTES 14 m - 1050 kg - 34,5 kV



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1





NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

18 ANEXO No.8. CÁLCULO MECÁNICO 34,5 kV

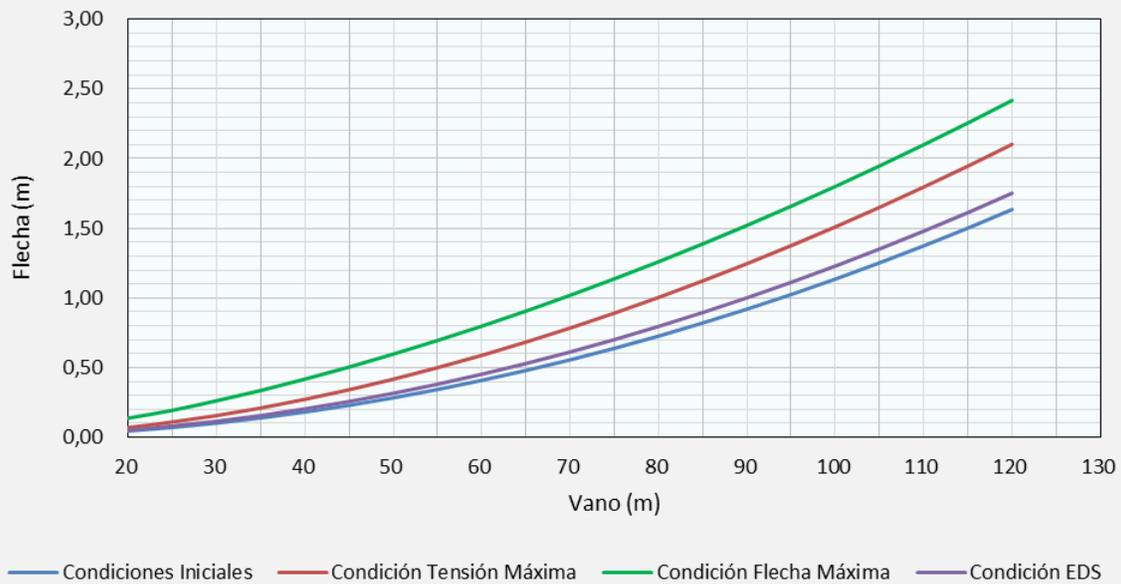


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

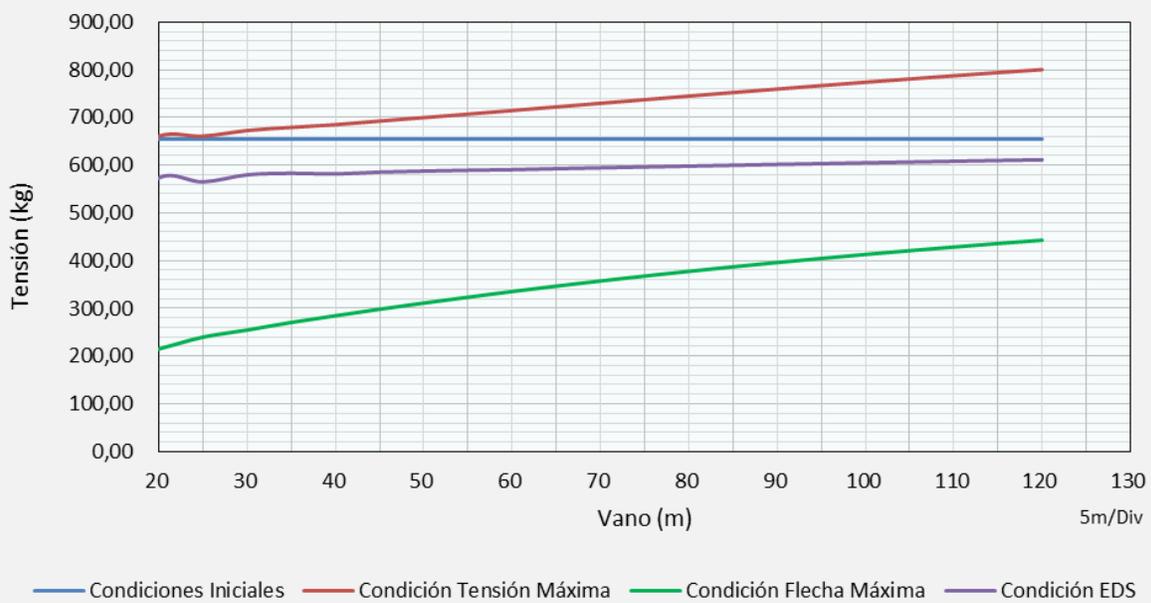
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Curva de Flecha - Semiaislado ACSR 1/0 AWG - 35 kV



Curva de Tendido - Semiaislado ACSR 1/0 AWG - 35 kV



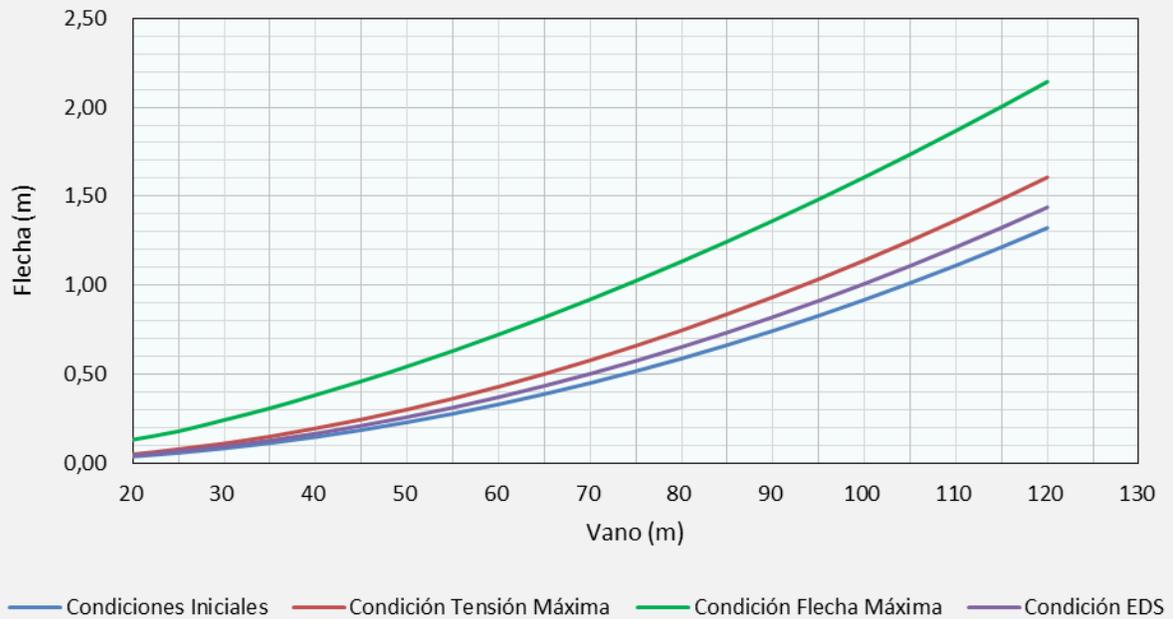


NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

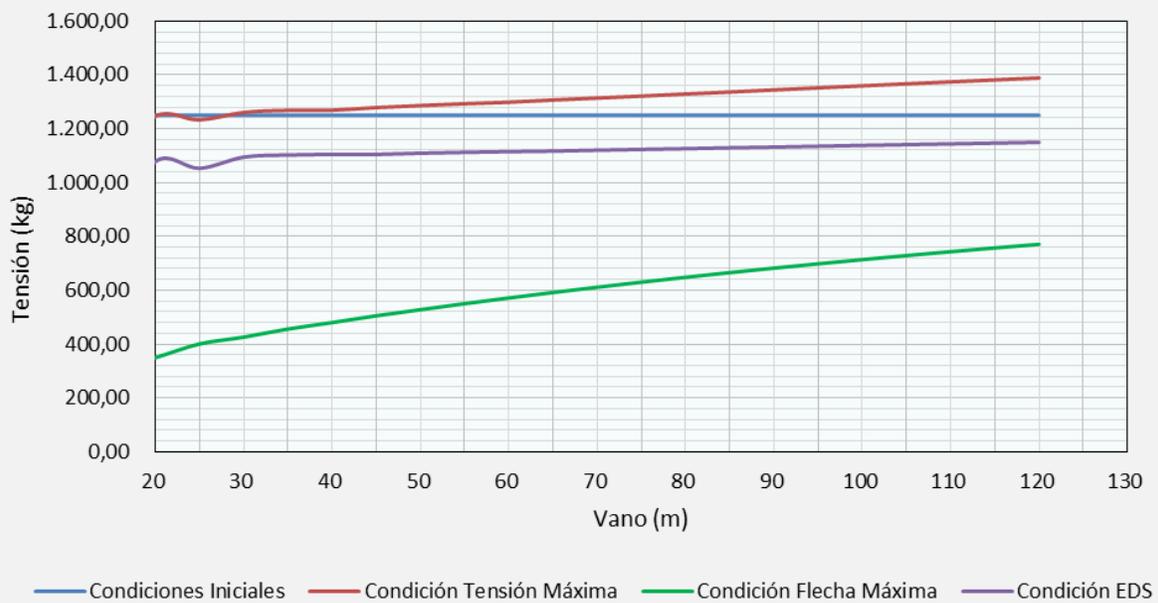
RSMA 2020

VERSIÓN: 1

Curva de Flecha - Semiaislado ACSR 4/0 AWG - 35 kV



Curva de Tensión - Semiaislado ACSR 4/0 AWG - 35 kV

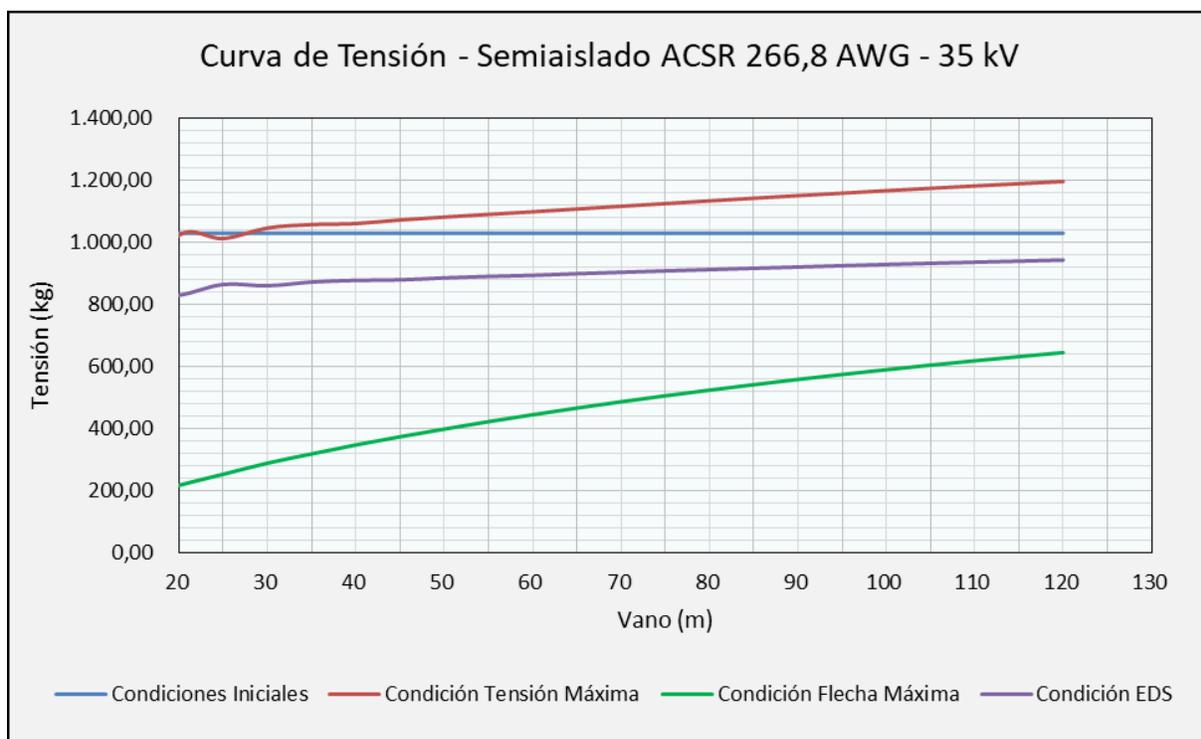
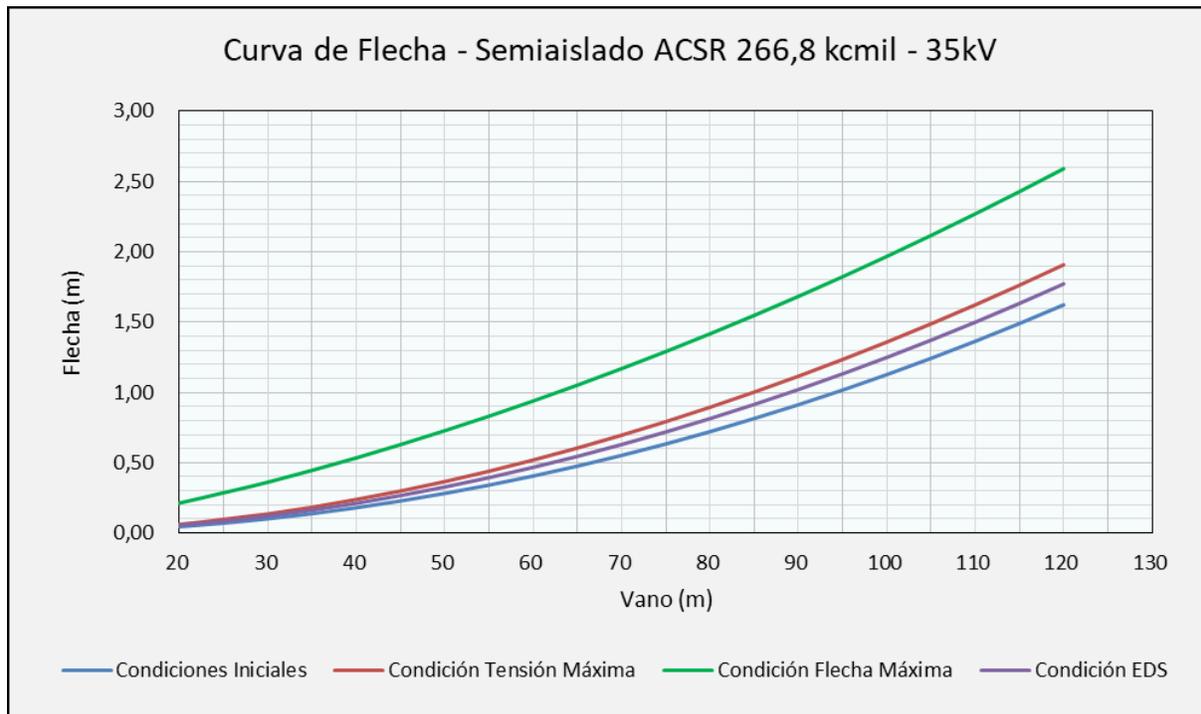




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

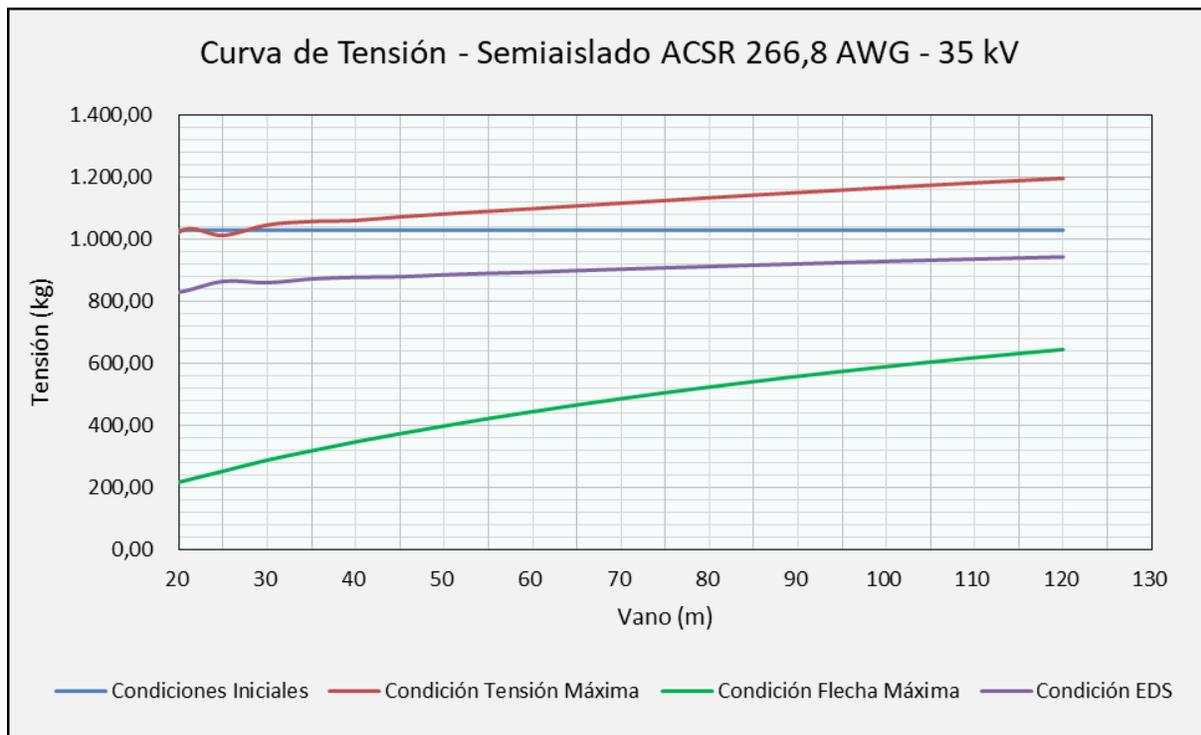




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1





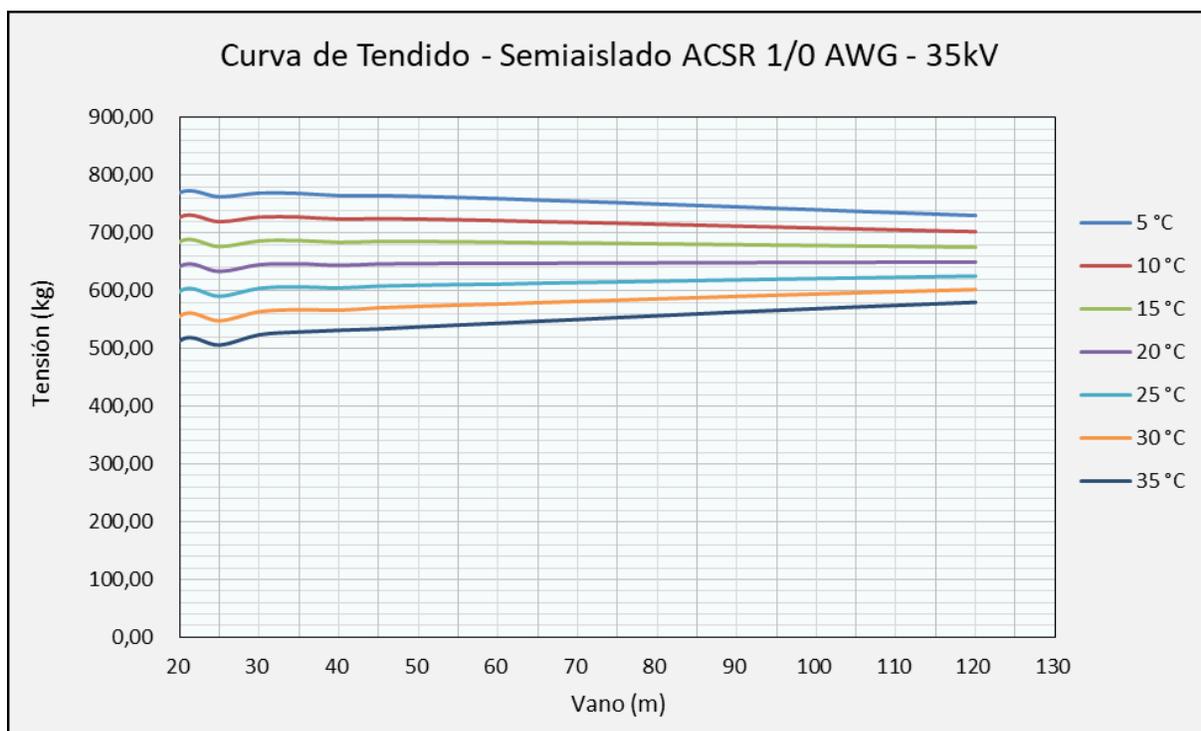
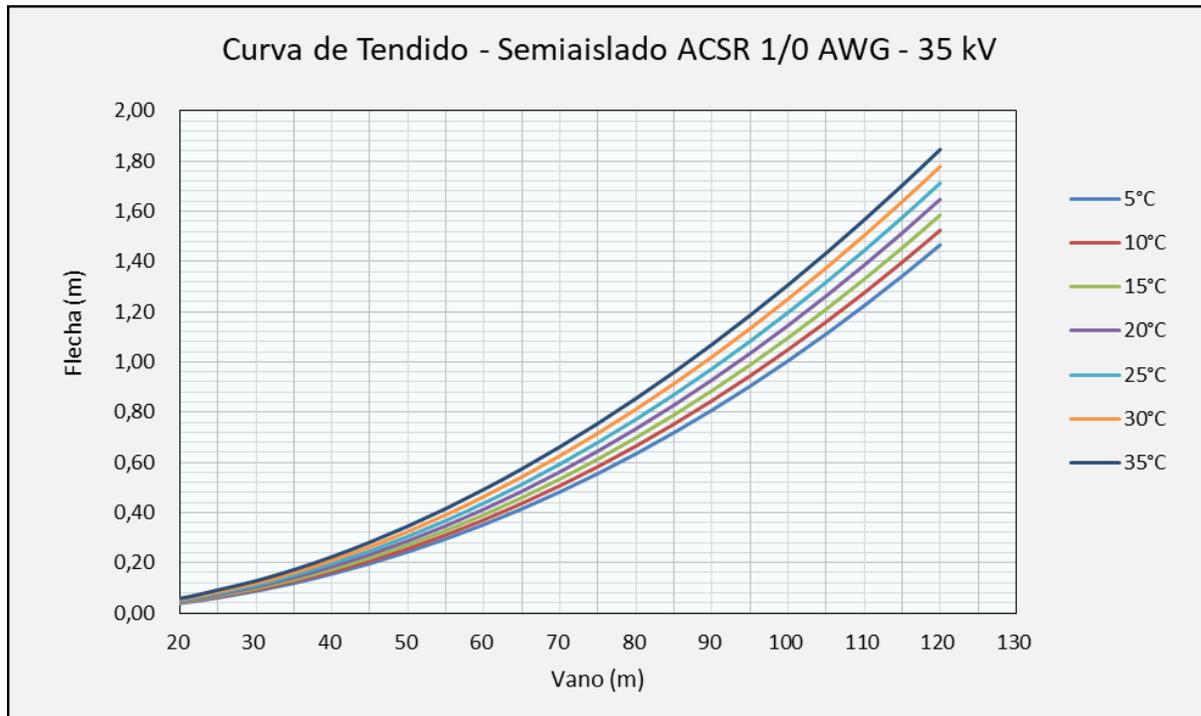
19 ANEXO No.9. CURVAS DE TENDIDO 34,5 kV



NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

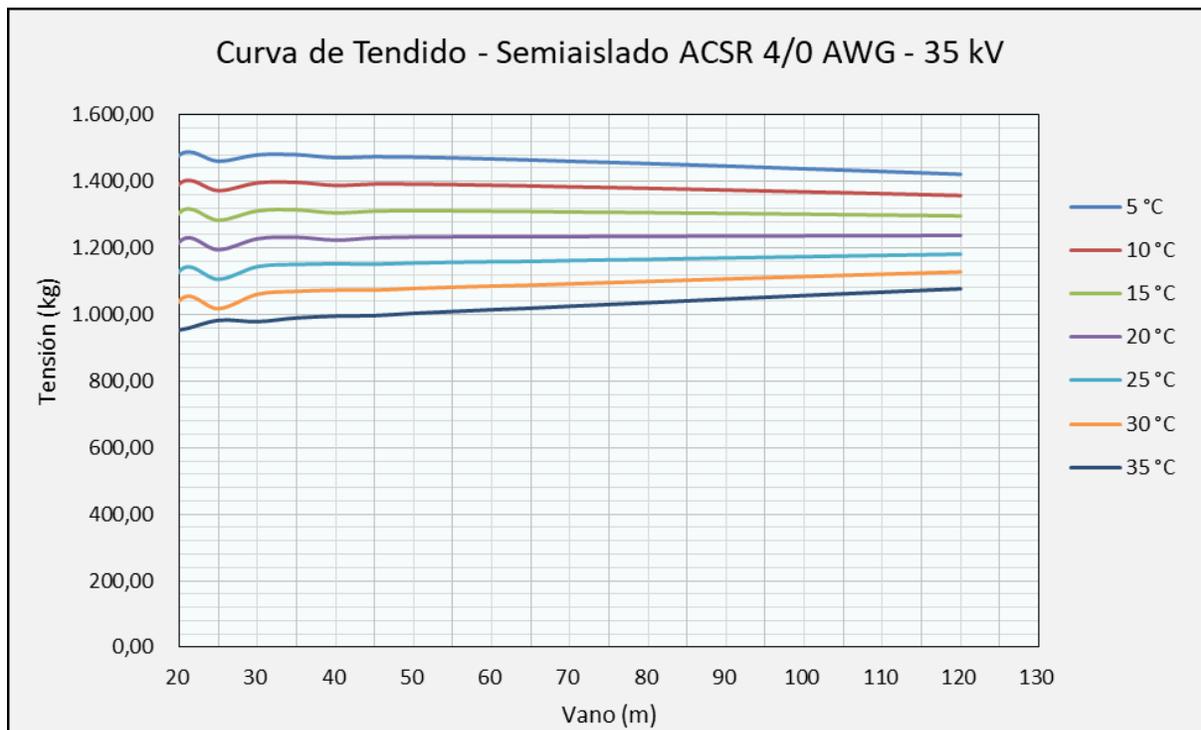
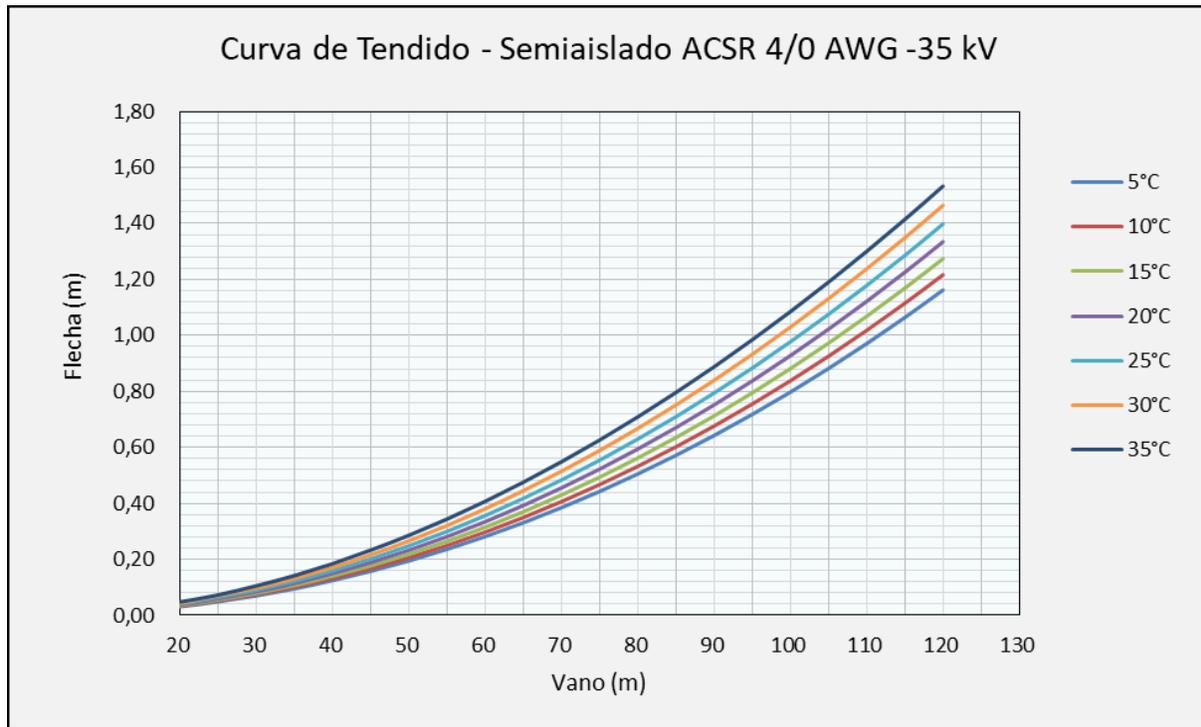




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

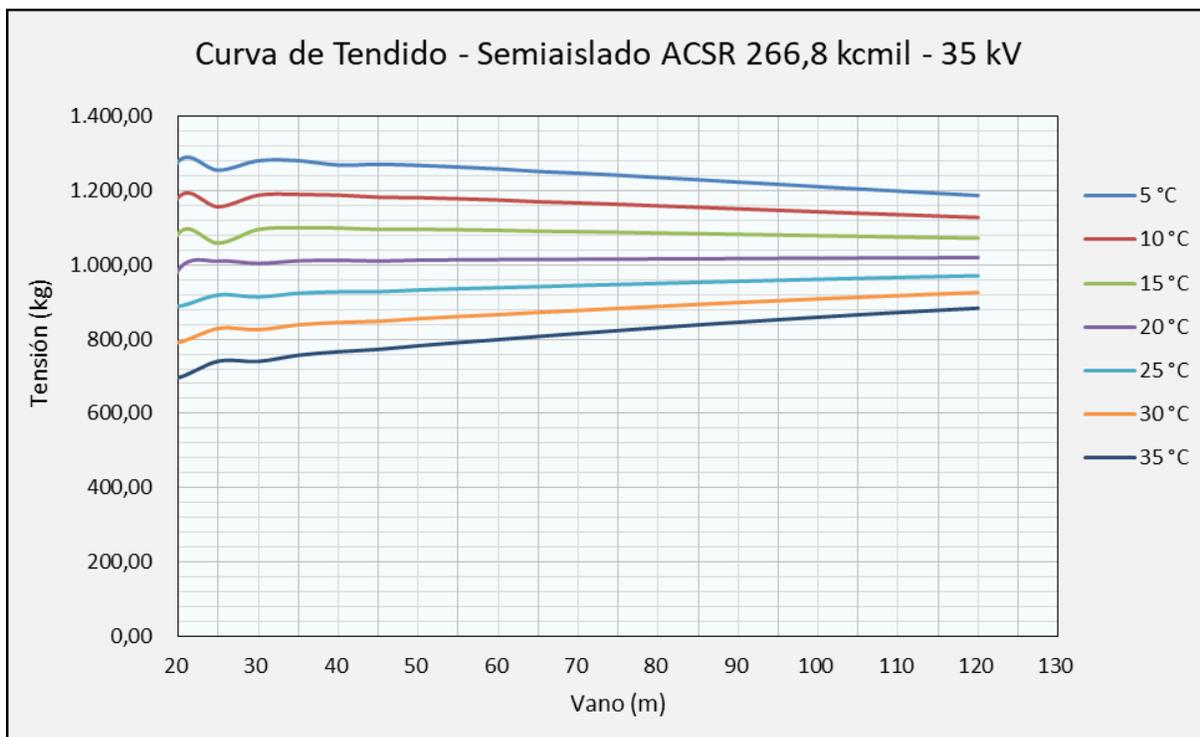
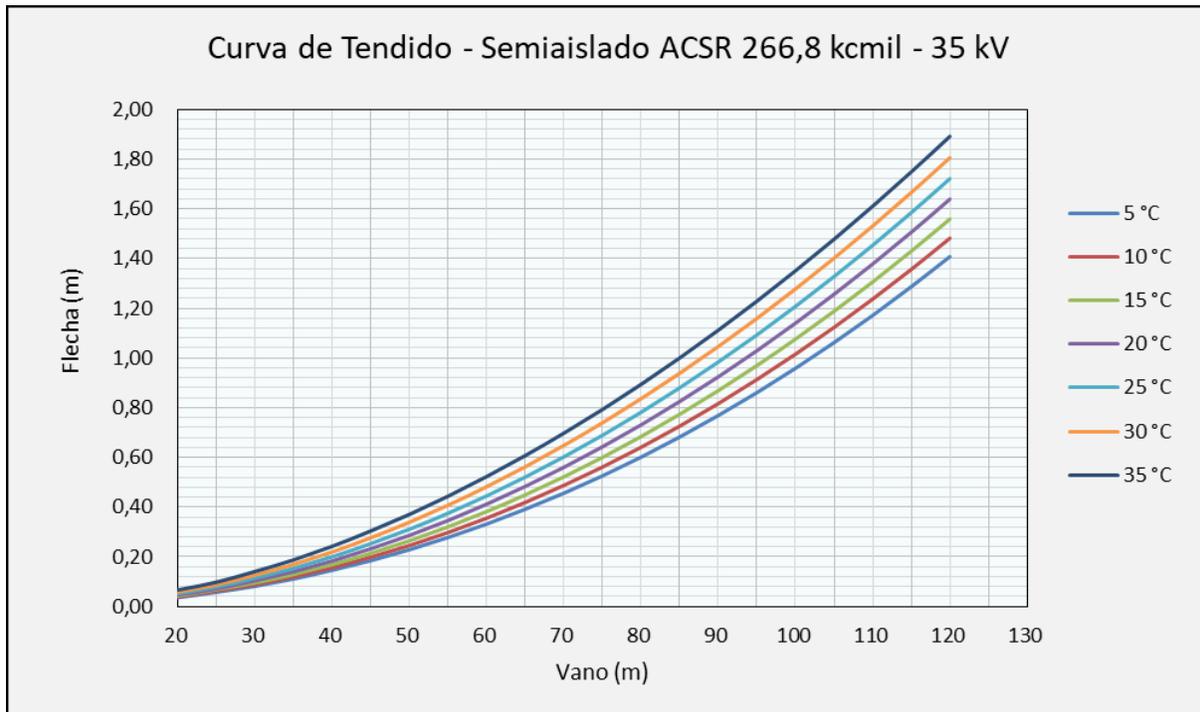




NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1





NORMAS DE RED SEMIAISLADA DE MEDIA TENSIÓN

RSMA 2020

VERSIÓN: 1

