



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA Y
BAJA TENSIÓN EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA
GUAJIRA Y MAGDALENA**

Autor(es)

Santiago López Urrego

Universidad de Antioquia

**Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
Eléctrica**

Medellín, Colombia

2021



DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN EN LOS
DEPARTAMENTOS DE LA GUAJIRA Y MAGDALENA

Santiago López Urrego

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero electricista

Asesores

Walter Mauricio Villa Acevedo – Ingeniero Electricista
José Alejandro Álvarez Palomino – Ingeniero Electricista

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica
Medellín, Colombia

2021

Contenido

1	Resumen.....	5
2	Introducción	5
3	Objetivos	6
3.1	Objetivo general.....	6
3.2	Objetivos específicos.....	6
4	Marco teórico.....	6
4.1	Redes aéreas de media tensión	7
4.2	Redes de distribución de baja tensión o secundarias	12
4.2.1	Configuración especial	12
4.3	Distancias de seguridad.....	13
4.4	Normas de estructuras.....	14
4.5	Cálculo de caída de tensión.....	16
5	Metodología	18
5.1	Levantamiento de redes.....	18
5.2	Estado de redes existentes.....	19
5.3	Proyección de postes	19
5.4	Distribución de transformadores	19
5.5	Proyección de acometidas	20
5.6	Calculo de regulación de tensión	20
5.7	Cálculo de esfuerzos mecánicos.....	20
5.8	Asignación de normas para vestida de poste.....	20
5.9	Determinación de configuración de puesta a tierra	21
5.10	Evaluación del diseño y correcciones.....	21
5.11	Cálculo de unidades constructivas	21
6	Resultados y análisis.....	21
7	Conclusiones.....	25
8	Referencias bibliográficas	26

Listado de figuras

Fig. 1.	Configuraciones de puesta a tierra [3].	8
Fig. 2.	Poste de concreto para redes de distribución [2].	8
Fig. 3.	Conductores de la red de distribución en configuración especial.....	9
Fig. 4.	Vano entre dos postes [4].....	10

Fig. 5. Cruceta metálica para vestida de poste [5].	10
Fig. 6. Aisladores tipo poste [6].	10
Fig. 7. Caja primaria: Equipo de seccionamiento con fusible para protección [7].	11
Fig. 8. Transformador tipo poste utilizado.	11
Fig. 9. Red chilena.	13
Fig. 10. Distancias de seguridad según el RETIE.	14
Fig. 11. Especificación de norma de media tensión del poste según la configuración.	15
Fig. 12. Especificación de norma de baja tensión del poste según la configuración.	16
Fig. 13. Plano de redes existentes.	19
Fig. 14. Cálculo de esfuerzos mecánicos de cada apoyo en el proyecto.	20
Fig. 15. Configuración del sistema de puesta a tierra según la resistividad aparente del terreno.	21
Fig. 16. Plano de diseño final de las redes.	22
Fig. 17. Caracterización de cada usuario por el tipo de acometida, longitud de acometida proyectada y transformador y caja repartidora a las cuales pertenece.	23
Fig. 18. Resultados de cálculos mecánicos.	24
Fig. 19. Regulación de tensión para red de baja tensión.	24
Fig. 20. Cálculo de regulación de media tensión.	25

DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA GUAJIRA Y MAGDALENA

1 Resumen

En el presente informe se describen las metas propuestas al empezar y los resultados al finalizar el semestre de industria en la empresa Energizando Ingeniería y Construcción S.A.S. En esta práctica empresarial se realizó el diseño de redes eléctricas de media y baja tensión, con el fin de actualizar la infraestructura de las redes que ya se encontraban construidas en la ciudad de Santa Marta y algunos barrios del departamento de la Guajira. Para realizar estos objetivos propuestos se siguió una metodología de diseño que tomaba en cuenta la evaluación del estado de las redes de media y baja tensión y el estado de los usuarios a intervenir por medio de planos suministrados por un equipo de levantamiento que visitó cada barrio que se planeaba diseñar, luego a partir del estado de las redes existentes se realizó el diseño de las redes de media y baja tensión con configuración especial y otro equipo operativo ejecutó la obra con los diseños realizados.

2 Introducción

La energía eléctrica es una de las principales herramientas para propiciar el desarrollo tecnológico que experimenta el mundo en la actualidad. Además, se ha vuelto una necesidad para garantizar una buena calidad de vida y el acceso a diferentes servicios de básicos de vida, de educación y de información.

Energizando es una empresa especialista en las áreas de ingeniería eléctrica, telecomunicaciones, ingeniería civil y soluciones con vuelo de drones. Las prácticas académicas fueron desarrolladas en Energizando que actuó como contratista del proyecto de diseño y montaje de las nuevas redes de distribución operadas por AIR-E, operador del servicio de energía eléctrica en Atlántico, La Guajira y Magdalena.

En los últimos años la zona de la costa atlántica colombiana ha sufrido afectaciones en la confiabilidad del suministro de energía eléctrica por diferentes factores, entre los cuales se destaca el acceso fraudulento al servicio de energía eléctrica. El nuevo operador de red de la costa caribe planeó remodelar las redes de distribución de la ciudad de Santa Marta y algunas zonas del departamento de la Guajira, con el fin de solventar las problemáticas que afectan la confiabilidad del sistema. La remodelación de estas redes generó grandes retos operacionales y de diseño que se tuvieron que abordar con metodologías claras para realizar un procedimiento exitoso. Estos retos principalmente se basaron en la recopilación de la información que cuantifican y definen el estado actual tanto de los usuarios como de las redes existentes y la instalación de los nuevos componentes de la red

en todo el sistema. Además de las limitaciones de espacio que presentan los sitios de instalación de las redes, que generan restricciones en el diseño y la instalación de las redes.

El diseño de redes eléctricas se realizó garantizando el cumplimiento de la normatividad establecida por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) [1] y la normatividad establecida por el operador de red en la zona donde se lleva a cabo el proyecto. Para este caso el operador de red estableció el cambio en el diseño de las redes eléctricas, haciendo uso de la configuración de red especial. Esta nueva configuración de red especial está pensada para dar más confiabilidad al sistema, evitar la manipulación de diferentes componentes de las redes eléctricas por parte de los usuarios y evitar interrupciones en suministro del servicio.

En el presente proyecto se realizaron los diseños las redes de distribución en la ciudad de Santa Marta, bajo el acompañamiento de profesionales en la compañía ENERGIZANDO INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S como proyecto de práctica en semestre de industria. En la duración de la práctica se realizarán los diseños de diferentes barrios, teniendo en cuenta diferentes factores como el consumo de cada usuario según su nivel socioeconómico, las restricciones ambientales, climáticas y de espacio que presenta el sitio donde se realiza el diseño, la configuración de las redes existentes y la normatividad establecida por el RETIE y el operador de red.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Hacer el diseño de redes eléctricas de media y baja tensión bajo los lineamientos de la empresa ENERGIZANDO y las normas establecidas por el RETIE y el operador de red.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño de las redes de media y baja tensión de los barrios de la ciudad de Santa Marta.
- Realizar las memorias de cálculo del proyecto, teniendo en cuenta la regulación de tensión, el cálculo de esfuerzos mecánicos en los apoyos y la normatividad establecida por el RETIE y el operador de red.
- Evaluar el costo del proyecto a partir de los materiales y las unidades constructivas necesarias realizar la construcción de las redes proyectadas.

4 Marco teórico

Dentro de la cadena de la generación de la energía eléctrica existen tres etapas principales, las cuales son; generación, transmisión y distribución. Para esta práctica empresarial nos enfocaremos en la etapa de distribución, en la cual se conectan

usuarios residenciales, comerciales e industriales (pequeñas industrias). La etapa de distribución se compone de redes de media y baja tensión (menores a 57,5 kV) que pueden ser aéreas o subterráneas, por lo general se utilizan aéreas por el menor costo de inversión que involucran. Esta etapa es la encargada de llevar el suministro de energía eléctrica al usuario final desde las subestaciones de transformación. Para la red de media tensión se utilizan conductores desnudos, usualmente para disminuir los costos de la red y hacer uso del aire como aislador del conductor. Los conductores son soportados en estructuras de concreto llamadas apoyos o postes que contienen crucetas metálicas, aisladores, protecciones, transformadores y demás componentes necesarios para llegar a cada usuario[2].

4.1 Redes aéreas de media tensión

Las redes aéreas de distribución de media tensión intervenidas en este proyecto operan a una tensión de 13.2 kV y por lo general son sistemas radiales [3]. Presentan varias ventajas económicas y son eficientes y confiables cuando se operan y se mantienen adecuadamente, pero presentan algunas desventajas, ya que pueden tener interrupciones por descargas atmosféricas, o contacto de objetos con los conductores, haciendo que la red siempre tenga riesgo de estar sometida a fallas temporales. A continuación, se definen los componentes y conceptos principales que involucran las redes aéreas de media tensión:

- **Operador de red:** empresa de Servicios Públicos encargada de la planeación, de la expansión, inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional (STR) o un Sistema de Distribución Local (SDL).
- **Carga:** la potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.
- **Cargabilidad:** límite térmico dado en capacidad de corriente, para elementos del sistema como: líneas de transporte de energía, transformadores, 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. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

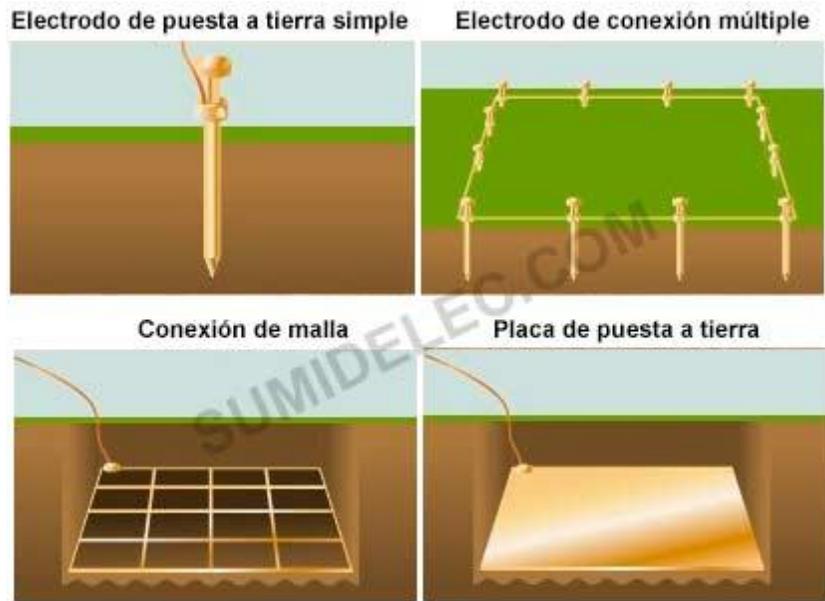


Fig. 1. Configuraciones de puesta a tierra [4].

- **Postes:** son los soportes de los cables de las redes de distribución, estos, pueden ser de madera, concreto o metálicos y sus características de peso, longitud y resistencia a la rotura son determinadas por el tipo de construcción de los circuitos. Para este proyecto son utilizados postes de concreto de 9 y 12 metros con resistencia de rotura de 735, 1030 y 1324 daN.

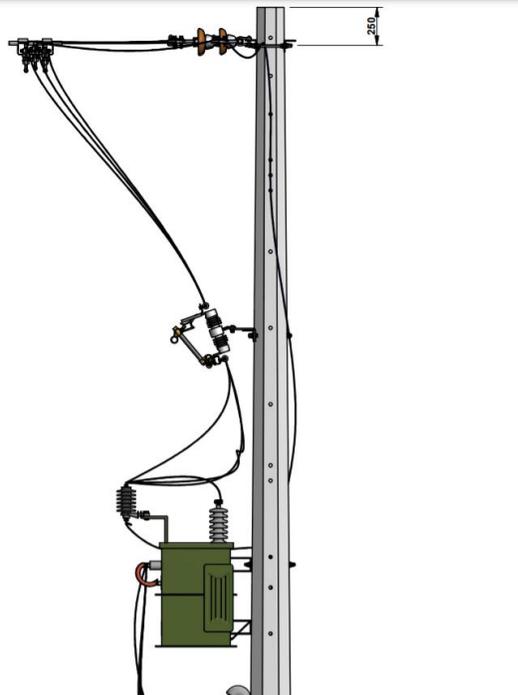


Fig. 2. Poste de concreto para redes de distribución [3].

- **Contaminación:** liberación artificial de sustancias o energía hacia el entorno y que puede causar condiciones extremas de trabajo para los componentes del

sistema eléctrico. En el presente proyecto se implementan dispositivos diseñados para operar en alta contaminación debido a la alta corrosión que se presenta en el ambiente de Santa Marta y la Guajira.

- **Conductores:** son los medios de transmisión de la energía desde la subestación hasta la carga, generalmente para circuitos primarios se utiliza el Aluminio y el ACSR desnudos en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y para circuitos secundarios en cables desnudos o aislados en los mismos calibres. Estos circuitos son de 3 y 4 hilos con neutro puesto a tierra. Paralelo a estos circuitos van los conductores de alumbrado público.



Fig. 3. Conductores de la red de distribución en configuración especial.

- **Vano:** distancia horizontal entre postes contiguos en una línea de distribución.

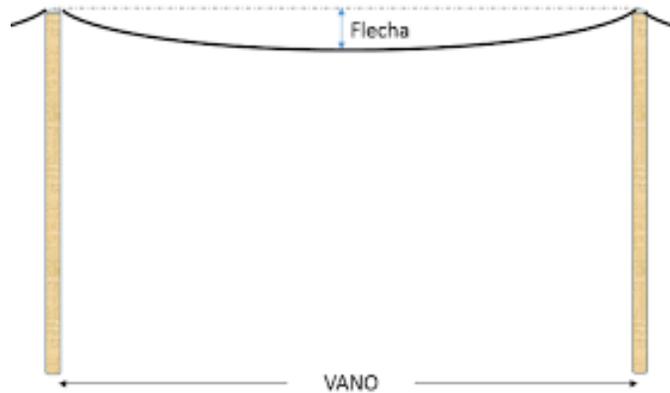


Fig. 4. Vano entre dos postes [5].

- **Crucetas:** es una estructura metálica que va sujeta al poste y es encargada de soportar los aisladores, las protecciones y los conductores. Son utilizadas crucetas de ángulo de hierro galvanizado de 2 metros para 13,2 kV. Con diagonales en varilla o de ángulo de hierro (pie de amigo).



Fig. 5. Cruceta metálica para vestida de poste [6].

- **Aisladores:** elemento de mínima conductividad eléctrica, diseñado de tal forma que permita dar soporte rígido o flexible a conductores y aislarlos eléctricamente de otros conductores, estructuras y de tierra. Para media tensión se utilizan aisladores de porcelana tipo poste y cadena de aisladores de suspensión, para baja tensión se utilizan aisladores tipo carrete.

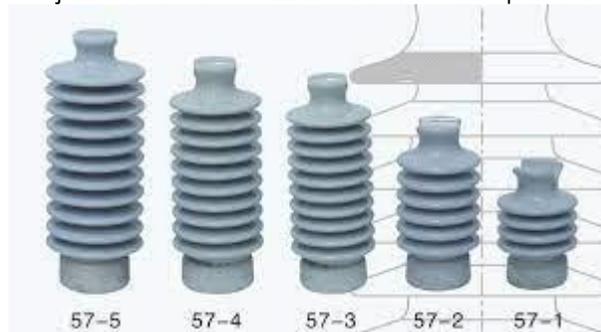


Fig. 6. Aisladores tipo poste [7].

- **Herrajes:** son los componentes necesarios para hacer la sujeción de todos los componentes del armado del poste al poste. Todos los herrajes utilizados en redes aéreas de baja y media tensión son de acero galvanizado. (Grapas, varillas de anclaje, tornillos de máquina, collarines, espigos, etc.).
- **Equipos de seccionamiento:** el seccionamiento se efectúa con cortacircuitos y seccionadores monopolares para operar sin carga (100 A - 200 A).



Fig. 7. Caja primaria: Equipo de seccionamiento con fusible para protección [8].

- **Transformadores:** se emplean transformadores monofásicos convencionales con valores de potencia nominales de 15kVA y 25kVA.



Fig. 8. Transformador tipo poste utilizado.

4.2 Redes de distribución de baja tensión o secundarias

Las redes de baja tensión son la parte del sistema de distribución que finalmente suministra el servicio de energía eléctrica a los usuarios y están conformadas por diferentes equipos eléctricos que operan a una tensión menor de 1000 V. La conexión de los usuarios a la red de distribución se hace por medio de acometidas. Las acometidas pasan por un contador de energía que cuantifica el consumo de cada usuario en un periodo de tiempo.

4.2.1 Configuración especial

En Santa Marta y la Guajira se han utilizado redes de baja tensión abiertas con conductores desnudos en los sitios que se pueden respetar las distancias de seguridad y en otras zonas se utiliza cable asilado trenzado. Estas redes tienen un buen funcionamiento, pero son manipuladas por personas ajenas al operador de red. Entonces las redes de baja tensión se actualizaron a la configuración especial, la cual cambia la forma en que la red trenzada de baja tensión se sujeta a la cruceta metálica del poste, con el fin de garantizar su protección con la red de media tensión. En esta nueva configuración de las redes de baja tensión se minimiza el uso de red trenzada y se hace la instalación de modo que las acometidas de los usuarios con sus respectivos contadores de energía siempre inicien del transformador por medio de redes chilenas.

En las redes chilenas, las acometidas van sujetadas a un cable de acero galvanizado en vanos máximos de 40 m. La nueva configuración especial aumenta la confiabilidad del sistema y disminuye la posibilidad de acceso fraudulento a la red.



Fig. 9. Red chilena.

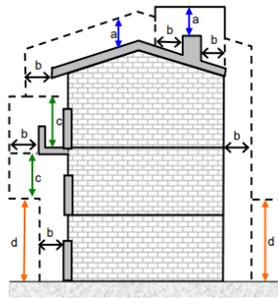
4.3 Distancias de seguridad

El RETIE establece en el numeral 10.1 Diseño de las instalaciones eléctricas, que, como parte del diseño detallado de redes de distribución de energía, se deben establecer las distancias de seguridad requeridas entre los conductores eléctricos y las edificaciones cercanas, como una medida de prevención de riesgos eléctricos, garantizando así la seguridad de las personas y la preservación del medio ambiente [9].

Las distancias de seguridad son los valores mínimos de separación que deben tener los conductores y partes energizadas de una estructura, con respecto a construcciones civiles y otros conductores, para cumplir con las siguientes funciones [10]:

- Dificultar el contacto entre personas y circuitos o equipos energizados.
- Impedir que las redes de un distribuidor tengan contacto entre ellas mismas o con redes de otro y con la propiedad pública o privada.
- Es fundamental que, en las redes de distribución de energía, tanto en la etapa de diseño como de construcción, se debe calcular y cumplir con las distancias de seguridad mínimas entre los elementos activos de la red eléctrica y elementos físicos como edificaciones, calles, carreteras, vallas metálicas, pendones, canales navegables y no navegables, teniendo en

cuenta lo establecido en el RETIE. No cumplir con las distancias mínimas de seguridad, es objeto de investigación administrativa correspondiente por parte de las entidades de control y vigilancia.



DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES		
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical "a" sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 13.1).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal "b" a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 13.1)	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 13.1)	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	<1	3,5
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular. (Figura 13.1) para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5

Fig. 10. Distancias de seguridad según el RETIE.

4.4 Normas de estructuras

A continuación, se muestra como se hizo la selección de las normas de media y baja tensión utilizadas en el proyecto, estas normas definen la vestida del poste según su configuración que puede ser horizontal o en bandera, además la norma y a su vez la vestida de poste cambia según el ángulo que tome la red en ese poste con respecto al poste anterior. En la mayoría de los apoyos del proyecto se utilizó la configuración tipo bandera porque así lo determina la configuración especial de la red. En los casos donde derivaban ramales de media tensión en 3 direcciones se utilizó configuración horizontal para la red que quedaba en fin de línea.

La codificación de la estructura de media tensión se realiza según el siguiente formato:

$$MT[ABC - X - Y - Z]$$

Donde:

A= Código de la configuración:

1. Tipo Bandera
2. Tipo triangular -Vano largo
3. Tipo Horizontal

4. Tipo Vertical
5. Tipo Compacta

B = Número de fases

1. Una fase- monofásico
2. Dos fases -bifásico
3. Tres fases – trifásico

X= Nivel de tensión:

1. 13.2 kV
2. 34.5 kV

Y = Nivel de contaminación del aislamiento:

- N Nivel de contaminación normal
R Altamente contaminada

Z = Conductor:

- 1 1/0 ASCR- 123 AAAC
- 2 4/0 ASCR – 246 AAAC
- 3 266 ACSR – 312 AAAC
- 4 336 ACSR – 394 AAAC

C = tipo de configuración:

El código de la letra C será el encargado de expresar el tipo de armado que va en la estructura en mención dependiendo del tipo de configuración que este tenga en la siguiente imagen se ven los valores de C según la configuración y el ángulo.

Configuración	C	Descripción
Bandera	1	FL
	2	AL y ANG < 5
	3	ANG 5°-20° - Conductores Mayores
		ANG 5°-30° - Conductores Menores
4	ANG 20°-60°- Conductores Mayores	
	ANG 30°-60°- Conductores Menores	
Triangular - Vano largo	2	AL y ANG < 5
Horizontal	1	FL
	2	AL y ANG < 5
	3	ANG 5°-20° - Conductores Mayores
		ANG 5°-30° - Conductores Menores
	4	ANG 20°-60°- Conductores Mayores
		ANG 30°-60°- Conductores Menores
5	ANG 60°-90°	
6	ANC hasta 60° (1)	

Fig. 11. Especificación de norma de media tensión del poste según la configuración.

Para las estructuras de baja tensión se utiliza el siguiente formato:

BT AB

Donde:

A= Código de la configuración:

1. Con aislador carrete
2. Con grapas y pinzas
3. Especial
- 4 tipo acometidas (chilena)

B= tipo de configuración

El código de la letra B será el encargado de expresar el tipo de armado que va en la estructura en mención dependiendo del tipo de configuración que este tenga en la siguiente imagen se ven los valores de B según la configuración y el ángulo.

Configuración	C	Descripción
Con Aislador Carrete	1	FL
	2	AL y ANG < 60°
	5	ANG 60°-90°
	6	Anclaje o doble fin de línea
Especial	1	FL
	2	AL
	3	ANG < 10°
	6	Anclaje o doble fin de línea
Tipo Acometidas	1	FL
	2	AL y ANG < 60°
	5	ANG 60°-90°

Fig. 12. Especificación de norma de baja tensión del poste según la configuración.

4.5 Cálculo de caída de tensión

Según la Norma Técnica Colombiana (Código eléctrico Colombiano NTC 2050) [11] la caída de tensión en redes eléctrica no debe superar el 5% para el alimentador principal y 3% para los ramales en redes menores a 13.5 kV, en el diseño se hizo el cálculo de la caída de tensión para todas las redes, garantizando que este no superara dichos límites.

Para las redes de baja tensión el cálculo se hizo por medio de Excel siguiendo la fórmula que se muestra a continuación:

$$k = \frac{(r * \cos\theta + x * \text{sen}\theta)}{5 * kV^2} \quad (1)$$

$$\Delta V(\%) = (kVA * m) * k$$

Donde:

k : Constante de regulación.

r : Resistencia del conductor.

x : Reactancia del conductor.

θ : Factor de potencia.

V : Voltaje de la instalación.

m : Longitud del circuito.

Para la red de media tensión se calcularon la caída de tensión y las pérdidas de potencia en la línea trifásica debidas al efecto Joule causadas por la resistencia como se muestra a continuación:

$$P_p = 3 * R * L * I^2 * 10^{-3}$$

Con:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\theta \quad (2)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\theta}$$

Donde:

R : Resistencia de la línea por kilómetro (Ω/km).

L : Longitud de la línea (km).

I : Intensidad de la línea (A).

P_p : Pérdida de potencia (kW).

P : Potencia trifásica transportada por la línea (kW).

U : Tensión compuesta (fase-fase) de la línea (kV).

$\cos\theta$: Factor de potencia de la carga.

El porcentaje de potencia perdida en la línea vendrá dado por el cociente entre la potencia perdida y la potencia transportada:

P : Potencia trifásica transportada por la línea (kW).

U : Tensión compuesta (fase-fase) de la línea (kV).

$\cos\theta$: Factor de potencia de la carga.

El porcentaje de potencia perdida en la línea vendrá dado por el cociente entre la potencia perdida y la potencia transportada.

Con la constante de pérdidas dada por:

$$k_{p3} = \frac{R}{10 * U^2 * \cos\theta} \quad (3)$$

Para el cálculo de la caída de tensión de las rede de media tensión se utiliza el método del momento eléctrico. El porcentaje de caída de tensión está dado por:

$$\% \Delta V = k_v * P * L \quad (4)$$

Donde:

k_v : Constante de regulación.

P: Potencia a transportar (kW).

L: Longitud de la línea (km).

Se selecciona el conductor cuya caída de tensión total o acumulada sea menor o igual a los siguientes límites para redes de media tensión:

- 13.2 kV: 5% de la tensión nominal desde la subestación de alimentación en este nivel de tensión.
- 34.5 kV: 10 % de la tensión nominal desde la subestación de alimentación en este nivel de tensión.

5 Metodología

A continuación, se describe la metodología que se utilizó para realizar el proyecto:

5.1 Levantamiento de redes

El equipo de levantamiento visitó los lugares donde se iban a hacer los diseños, dividiendo el proyecto global en sub-proyectos determinados por el número de transformadores que tenían las redes existentes, e hicieron un levantamiento de las redes de media y baja tensión existentes en un mapa cartográfico, identificando cada usuario conectado a la red de distribución y especificando si el usuario contaba con servicio monofásico o bifásico.



Fig. 13. Plano de redes existentes.

5.2 Estado de redes existentes

Basado en el plano que contiene las redes existentes y que fue suministrado por el equipo de levantamiento, se empezó el diseño evaluando el estado de las redes existentes según las convenciones establecidas en el plano de AutoCAD. También se verificaba las medidas de los vanos y se observaba en las fotos de las redes existentes y el plano que en la zona intervenida no se hubiera realizado ya la actualización de la red a red chilena.

5.3 Proyección de postes

Se proyectaron nuevos postes de acuerdo con los vanos máximos permitidos, el estado de los postes que tenían las redes existentes y su resistencia a los esfuerzos mecánicos. A partir de estos apoyos se proyectaron los conductores y las normas que determinan la vestida de los postes para la red proyectada. Las proyecciones de postes se hicieron evaluando los esfuerzos mecánicos a los que se sometía el apoyo debido al ángulo que tomaba la red con respecto a los postes anteriores y posteriores, además de los esfuerzos mecánicos debidos a la cantidad de conductores, cajas repartidoras y transformadores.

5.4 Distribución de transformadores

Luego de asignar los apoyos que garantizan vanos menores a 40m se determinó la cantidad de transformadores de capacidad de 15kVA, 25kVA y 37.5kVA necesarios para suministrar el servicio a todos los usuarios del subproyecto y se

asignaron usuarios a cada transformador, respetando la cargabilidad y el crecimiento de demanda establecidos por el operador de red. Posteriormente, se determinó la ubicación del transformador de modo que quedara en el centro de carga.

5.5 Proyección de acometidas

Se proyectó la acometida de cada usuario dentro del límite de distancia máxima de acometida y número máximo de usuarios por caja repartidora. Para esta acometida se utilizó la convención para que las nuevas acometidas quedaran en cable de aluminio. Las redes antiguas tenían las acometidas en cable de cobre.

5.6 Cálculo de regulación de tensión

Se hizo el cálculo de regulación de tensión de media y baja tensión para cada subproyecto, verificando que la caída de tensión no superara los niveles establecidos en el RETIE.

5.7 Cálculo de esfuerzos mecánicos

Se realizó el cálculo de esfuerzos mecánicos por medio de una macro de Excel que fue suministrada por el operador de red, para realizar dicho cálculo se le suministraba al programa las coordenadas exactas de cada apoyo y se calculaba los ángulos de cada poste y sus respectivos esfuerzos a los que se sometió por número de fases, número de cajas repartidoras y transformadores que podían tener los apoyos. A continuación, se muestra una imagen del archivo de Excel que se utilizó para realizar los cálculos.

TABLA ANEXA 1. TIPOS DE APOYO																				
PROYECTO ELECTRIFICACIÓN BARRIO GAIRA - CIRCUITO GAIRA-MT C5171 Tramo 1																				
Armado Sugerido (dal)	Apoy Sugerido (kg)	No. Apoyo	Tipo de Apoyo	Altura Poste	CARGA ROTURA				ARMADOS MT				PESOS ADICIONALES EN EL APOYO			ZONA POR VELOCIDAD DE VIENTO		ZONA POR CONTAMBIACION		
					Kg	dall	No. Postes Soportan Esfuerzo	Total (dal)	Posición Armado Poste	No. Fases Armado	Tipos de Esfuerzos Adicionales	Nivel de Tensión del Último Armado	Trafo 1	Trafo 2	Interruptor	ZONA POR VELOCIDAD DE VIENTO	CODIGO	ZONA POR CONTAMBIACION	CODIGO AISLADOR	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
FL	1,350	EPE002	FL	12	750	1	735,29	1	3	-	1	-	-	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
AL	530	EPP016	AL	12	1350	1	1.323,53	1	3	-	1	37,5-2	2C&CD	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
AL	530	EPE004	AL	12	750	1	735,29	1	3	-	1	-	2C&CD	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
AL	530	EPE005	AL	12	750	1	735,29	1	3	-	1	-	-	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
AL	530	EPP013	AL	12	1350	1	1.323,53	1	3	-	1	37,5-2	4C&CD	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
AL	530	EPE007	AL	12	750	1	735,29	1	3	-	1	-	-	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
AL	530	EPE008	AL	12	750	1	735,29	1	3	-	1	-	2C&CD	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
FL	2,500	EPP015	FL	12	1350	1	1.323,53	1	3	-	1	37,5-2	2C&CD	-	-	-	A URBANA	2	ALTA	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 14. Cálculo de esfuerzos mecánicos de cada apoyo en el proyecto.

5.8 Asignación de normas para vestida de poste

Según el resultado del cálculo de esfuerzos mecánicos se especificaba una norma de media tensión y una norma de baja tensión establecida por el operador de red AIR-E, la cual contiene las unidades constructivas del poste según su configuración.

5.9 Determinación de configuración de puesta a tierra

El equipo de levantamiento hizo medidas de resistividad del terreno en el lugar de cada proyecto para determinar la configuración de la puesta tierra que se debía instalar, teniendo en consideración el valor de la corriente de cortocircuito entregado por AIR-E.

Tipo de electrodo	Configuración		Columna A
	Nombre	Diagrama	Valores máximos de resistividad aparente del terreno ($\rho = \Omega m$)
CopperClad Steel	Electrodo de Difusión Vertical		28
	Anillo (r=1,0m)		58,6
	Cuadrada con 4 electrodos de difusión (lado d = 3m)		84
Acero Austenítico	Electrodo de Difusión Vertical		28

Fig. 15. Configuración del sistema de puesta a tierra según la resistividad aparente del terreno. Donde se tienen electrodos de cobre y de acero austenítico [12].

5.10 Evaluación del diseño y correcciones

Luego de finalizar cada diseño la ingeniera líder del proyecto hacía revisiones de los diseños realizados por los practicantes, después estos diseños se corregían debido a errores cometidos durante el diseño o a observaciones encontradas a la hora de realizar el replanteo. Estas observaciones se daban por usuarios que no quedaron alimentados, errores en las convenciones del plano, restricciones de espacio en el sitio de obra y diferencias del plano de levantamiento con el barrio que se iba a intervenir.

5.11 Cálculo de unidades constructivas

Se hizo apoyo en la contabilidad de unidades constructivas, en este paso se hizo contabilidad de cada uno de los componentes que requería cada diseño por unidad constructiva y se definía el precio para poder calcular el precio de los materiales del proyecto, y por otro lado se realizó la contabilidad de materiales que se debían desmontar de la red antigua.

6 Resultados y análisis

En este proyecto de práctica se realizaron diseños de redes de media y baja tensión que fueron construidos en el departamento de la Guajira y Magdalena. El

resultado, fueron diseños que cumplieron con las exigencias del RETIE y el operador de red AIR-E.

En la siguiente figura se puede observar el plano final que se radica ante el operador de red, donde se ve el plano de AutoCad con todas las redes proyectadas.



Fig. 16. Plano de diseño final de las redes.

En el plano de la Figura 16, las líneas blancas y magenta representan las redes de media tensión, las líneas azules discontinuas indican las acometidas de los usuarios que se cambiaron a cable de aluminio y se proyectaron según las mismas características que tenían las redes existentes de acuerdo con el número de hilos, además a cada usuario se le asignó un transformador y una caja repartidora, la cual va a alojar su respectivo contador de energía. En el plano se especifica las distancias de cada tramo de la red, el número de hilos de la acometida de cada usuario, número de transformadores con su respectiva capacidad, postes de media y baja tensión numerados y con la convención de postes proyectados o existentes. También se especifica para cada poste la norma de media y baja tensión que define los elementos de su vestida. En general, en la Figura 17 se muestran las convenciones utilizadas en el diseño:



Fig. 17. Convenciones utilizadas para el diseño.

N°	AMARRE EXISTENTE	POT. (kVA)	AMARRE PROYECTADO	POT. (kVA)	N° MEDIDOR/CONTRATO	DIRECCIÓN	TIPO DE ACOMETIDA	LONG. ACOMETIDA PROYECTADA (m)	N°GABINETE	N°APOYO	RESERVAS
TRANSFORMADOR 001											
1	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	329734	SIN NOMENCLATURA	2H	47.2	GB-001	EPE042	2
2	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	1329825	10-94	2H	40.4			
3	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	1364051	7-03	2H	49			
4	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	SIN MEDIDA	10-58	2H	40.7			
5	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	308215	10-58	3H	43			
6	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	508215	10-85	2H	33	GB-002	EPE042	2
7	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	1309589	10-47	3H	24.5			
8	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	620731	10-47	3H	24.5			
9	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	6839632	10-41	2H	20			
10	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	SIN MEDIDA	10-41	2H	24.6			
11	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	239527	10-59	3H	19	GB-003		3
12	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	SIN MEDIDA	10-59	2H	21			
13	A7050	50	TP001-NUOVO	37.5	1198456	10-23	2H	29			
14	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	5478033	10-37	3H	26	GB-004	EPP-001	2
15	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	1239942	10-37	2H	28			
16	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	12074013	10-25	2H	18			
17	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	SIN MEDIDA	SIN NOMENCLATURA	2H	23			
18	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	11395945	SIN NOMENCLATURA	2H	25			
19	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	10215281	SIN NOMENCLATURA	3H	27.5	GB-005		3
20	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	275294	SIN NOMENCLATURA	3H	32			
21	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	SIN MEDIDA	SIN NOMENCLATURA	2H	30			
TRANSFORMADOR 002											
1	A7050	50	TP002-NUOVO	15	529732	6-15	3H	15	GB-006	EPE-044	2
2	A7050	50	TP002-NUOVO	15	SIN MEDIDA	6-15	2H	23			
3	A7050	50	TP002-NUOVO	15	11381732	NO VISIBLE	2H	19.2			
4	A7050	50	TP002-NUOVO	15	1301739108	SIN NOMENCLATURA	3H	23			
5	A7050	50	TP002-NUOVO	15	11381732	SIN NOMENCLATURA	2H	46.2			
6	A7050	50	TP002-NUOVO	15	1148283	SIN NOMENCLATURA	2H	50.2	GB-007		4
7	A7050	50	TP002-NUOVO	15	261422	SIN NOMENCLATURA	3H	58.5			
TRANSFORMADOR 003											
1	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	5137095	SIN NOMENCLATURA	3H	19	GB-008		2
2	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	329735	7-36	3H	32			
3	A7050	50	TP002-NUOVO	37.5	630216	7-36	3H	36			

Fig. 18. Caracterización de cada usuario por el tipo de acometida, longitud de acometida proyectada y transformador y caja repartidora a las cuales pertenece.

En la figura 18 se puede observar uno de los archivos que se incluyó en los anexos del diseño, allí se caracterizaron cada uno de los usuarios que hacían parte de cada subproyecto. Para cada usuario se especificó el código del transformador al que pertenecía, el transformador proyectado del cual se iba a alimentar, la

dirección de su inmueble, la caja repartidora a la cual iba a pertenecer, la cantidad de hilos de su acometida existente y el número del medidor de energía.

TABLA AÑEJA 1. TIPOS DE APOYO																		
PROYECTO ELECTRIFICACIÓN BARRIO GAIRA - CIRCUITO GAIRA - MT A7050 TRAMO 1																		
No. Apoyo	Tipo de Apoyo	Altura Poste	CARGA ROTURA				ARMADOS MT				PESOS ADICIONALES EN EL APOYO			ZONA POR VELOCIDAD DE VIENTO		ZONA POR CONTAMINACION		
			Kg	daN	No. Postes Soportan Esfuerzo	Total (daN)	Posición Armado Poste	No. Fases Armado	Tipos de Esfuerzos Adicionales	Nivel de Tensión del Último Armado	Trafo 1	Trafo 2	Interruptor	ZONA POR VELOCIDAD DE VIENTO	CODIGO	ZONA POR CONTAMINACION	CODIGO AISLADOR	
EPE010	FL	12	1350		1	1.323,53	1	3	-	1					A URBANA	2	ALTA	2
EPE042	AL	12	1050		1	1.029,41	1	3	-	1					A URBANA	2	ALTA	2
EPE041	AL	12	750		1	735,29	1	3	-	1					A URBANA	2	ALTA	2
EPP001	AL	12	1050		1	1.029,41	1	3	-	1		37,5-2		2C&CD	A URBANA	2	ALTA	2
EPE039	ANG	12	750		1	735,29	1	3	-	1					A URBANA	2	ALTA	2
EPP004	ANG	12	1050		1	1.029,41	1	3	-	1		37,5-2		2C&CD	A URBANA	2	ALTA	2
EPE038	AL	12	750		1	735,29	1	3	-	1					A URBANA	2	ALTA	2
EPP005	FL	12	1350		1	1.323,53	1	3	-	1				2C&CD	A URBANA	2	ALTA	2

Fig. 19. Resultados de cálculos mecánicos.

En la figura 19 se muestra el resultado de los esfuerzos mecánicos de todos los postes del proyecto, en este archivo se especifica la carga de rotura de todos los postes y la disposición de los ángulos que determinan la norma en el plano y finalmente los elementos de vestida del poste.

Caída de tensión sistemas Monofasicos (Conductor de cobre)

Carga: **15000 VA** 15 kVA

Longitud del circuito: **10 m**

Tensión del sistema: **240 V**

FP: **0,9**

Calibre del Cable: **1/0** < > **1** Cond. por fase

Material de la tubería: **Acero**

R: 0,39 OHM/kM

X: 0,18 OHM/kM

$$k = \frac{(r \times \cos\theta + x \times \text{sen}\theta)}{5 \times kV^2}$$

$k=0,0014$

$$\Delta V(\%) = (kVA \times m) \times k$$

Caída de tensión: $\Delta V(\%) = 0,22$

Voltaje Final: 239,46 V

Fig. 20. Regulación de tensión para red de baja tensión.

En la Figura 20 se muestra el cálculo de regulación de baja tensión, para este se tomó la distancia como 10m cuando todas las cajas repartidoras del transformador se encontraban en el mismo poste del transformador, ya que solo es la distancia del conductor desde los bornes del secundario del transformador hasta las cajas repartidoras.

TABLA 1.2.1.3.1 CALCULOS DE REGULACION MT											
PROYECTO:		A7050 GAIRA				FECHA:		5/03/2021			
MUNICIPIO:		SANTA MARTA				DISEÑO:		María Gómez			
REG MAX (%):		5				DEMANDA MAX (kVA):		192.5			
FP:		0.9				PERDIDA MAX (%kW):		0.00984			
REG (%):		0,01181									
PROYECTO: A7050 GAIRA						Tipo de Subestación:		Trifasica		V (L - N)	7621
										V (L - L)	13200
DESCRIPCION	LONG (KM)	D. MAX (kW)	CORIENTE (ln)	F.P.	CONDUCTOR			TIPO DE ESTRUCTURA	REGULACION		
					MATERIAL	CALIBRE	CANT		K	PARCIAL	ACUM.
EPE010 - EPE042	0,0400	173,3	8,42	0,9	AAAC	123,3	3	Bandera	0,0004775	0,00331	0,00331
EPE042 - EPE041	0,0261	173,3	8,42	0,9	AAAC	123,3	3	Bandera	0,0004775	0,00216	0,00547
EPE041 - EPP001	0,0350	173,3	8,42	0,9	AAAC	123,3	3	Bandera	0,0004775	0,00290	0,00836
EPP001 - EPE039	0,0240	139,5	6,78	0,9	AAAC	123,3	3	Bandera	0,0004775	0,00160	0,00996
EPE039 - EPP002	0,0240	139,5	6,78	0,9	AAAC	123,3	3	Bandera	0,0004775	0,00160	0,01156
EPP002 - EPE036	0,0382	13,5	,66	0,9	AAAC	123,3	3	Bandera	0,0004775	0,00025	0,01181

Fig. 21. Cálculo de regulación de media tensión.

Como se muestra en las Figuras 20 y 21, los resultados del diseño de las redes son el cálculo de las regulaciones de tensión en media y baja tensión, cálculo de la potencia necesaria para el subproyecto, número de transformadores, número de cajas concentradoras necesaria y el plano con el diseño final. Todos los cálculos y el diseño sujeto a las restricciones que presente la obra.

En la duración de la práctica académica se realizaron 9 diseños en los barrios de Santa Marta y la Guajira, estos diseños se hicieron siguiendo los mismos lineamientos descritos anteriormente, pero cambiaba la carga según el consumo estimado promedio de los usuarios según su estrato social, el número de usuarios, las características de las vías de los barrios que en algunos casos eran vías principales y generaban restricciones y en general el distanciamiento de usuarios que obligaba a tomar decisiones durante el diseño para garantizar el menor costo de cada proyecto y valores aceptables de variables fundamentales como la caída de tensión y los esfuerzos mecánicos de los apoyos.

7 Conclusiones

- La energía eléctrica es un recurso necesario para garantizar una calidad de vida óptima para toda la sociedad, además en zonas donde la temperatura promedio es tan alta como en la costa caribe, se ve aún más la necesidad de contar con este servicio para que los habitantes de estas zonas costeras puedan garantizar la preservación de sus alimentos y tener acceso a sistemas de ventilación que permita aumentar su confort. Por otro lado, el servicio de energía eléctrica es fundamental para la manufactura de productos en grandes, medianas y pequeñas empresas, el turismo y el óptimo uso de la tecnología. Para hacer posible todo esto se debe contar buena infraestructura en las redes eléctricas de distribución, ya además de suministrar la energía eléctrica se debe garantizar de que esta sea constante por medio de unas redes eléctricas confiables.
- En sistemas de distribución local se busca tener la mejor condición de las instalaciones y evitar la interrupción del servicio por eventos de contingencia

naturales o provocados, el diseño de las redes de media y baja tensión en la ciudad de Santa Marta y en el departamento de la Guajira se hizo con el fin de aumentar la confiabilidad del sistema, disminuir las pérdidas de energía en el sistema y evitar que personas no autorizadas manipulen las redes de distribución con el fin de hacer conexiones fraudulentas.

- En el desarrollo de la práctica fue posible aplicar todos los conceptos y conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera profesional, principalmente los saberes del curso de transporte de energía, en el cual se aprendió gran parte del procedimiento de diseño y operación de sistemas de distribución y redes eléctricas de alta, media y baja tensión.
- Para realizar el diseño de una red de distribución se debe tener en cuenta varias aspectos tales como; el conocimiento pleno de la carga a alimentar, las restricciones de espacio en el sitio de ejecución de la obra, las condiciones climáticas a las cuales van a estar sometidos los equipos que hacen parte de la red, el reglamento técnico del RETIE para conocer y respetar las distancias de seguridad, la normatividad establecida por el operador de red y tener conocimiento claro del estado de las redes existentes al momento de realizar el diseño.

8 Referencias bibliográficas

- [1] Colombia.Ministerio de Minas y Energía y F. Rengifo Velez, *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE versión 2013*. Bogota: Norvisa Comunicaciones, 2013.
- [2] J. Cervantes y J. Dolores, «Sistemas de distribución de energía eléctrica», p. 170, 1995.
- [3] S. Ramírez Castaño, «Redes de distribución de energía», jun. 2019, Accedido: feb. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7095>
- [4] S. material electrico, «Guía sobre las puestas a tierra y sus resistencias», Sumidelec. <https://www.sumidelec.com/blog/guia-puestas-tierra-resistencias> (accedido may 25, 2021).
- [5] J. Diaz-Noriega, «Cable ADSS (All Dielectric Self Supported)», *TELNET Redes Inteligentes*. <https://www.telnet-ri.es/productos/cable-de-fibra-optica-y-componentes-pasivos/cable-aereo-adss/> (accedido may 25, 2021).
- [6] «Cruquetas y cruceros», Ceica. <https://www.ceica.com/product/cruquetas-y-cruceros/> (accedido may 25, 2021).
- [7] «Aisladores De Porcelana Tipo Poste Para Subestaciones, OEMNO:Aisladores De Porcelana Tipo Poste Para Subestaciones, Application:Orient Power». <http://en.gasgoo.com/showroom/lvinsulators/auto-products/2199114.html> (accedido may 25, 2021).

- [8] «Cortacircuitos Fusible Tipo XS para distribución aérea, en exteriores». <https://www.sandc.com/es/productos-y-servicios/productos/cortacircuito-fusible-tipo-xs/> (accedido may 25, 2021).
- [9] ° Campos Electromagnéticos, «13.1 DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES.....57 13.2 DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD PARA DIFERENTES LUGARES Y SITUACIONES .57 13.3 DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE CONDUCTORES EN LA MISMA ESTRUCTURA60 13.4 DISTANCIAS MÍNIMAS PARA TRABAJOS EN O CERCA DE PARTES ENERGIZADAS6», n.º 9, p. 211.
- [10] G. V. Brenes Vanegas, «Diseño, cálculos eléctricos y mecánicos de un proyecto de electrificación rural en la comunidad Tisey municipio de Wiwili.», 2016.
- [11] «Codigo Electrico Colombiano - Segunda Actualización PDF | Ingeniería | Tecnología e ingeniería», *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/456102616/Codigo-Electrico-Colombiano-Segunda-actualizacio-n-1-pdf> (accedido jul. 06, 2021).
- [12] L.-D. Emt, «Sistemas de Puesta a Tierra en Acero Austenítico.», n.º 1, p. 27.