DISEÑO DE RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA (BAJA TENSIÓN) PARA UN SECTOR DE 250 VIVIENDAS CORALES -CUBA

BRAYAN STEVEN DUQUE POSADA

CÓDIGO: 1088011545

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

PEREIRA

2016

DISEÑO DE RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA (BAJA TENSIÓN) PARA UN SECTOR DE 250 VIVIENDAS CORALES -CUBA

BRAYAN STEVEN DUQUE POSADA

CÓDIGO: 1088011545

Trabajo de grado para optar al título de:

Tecnólogo electricista

Ing. OSCAR GÓMEZ CARMONA

DIRECTOR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

PEREIRA

2016

Nota de aceptación:

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

Pereira, Risaralda (Diciembre 2 2016)

DEDICATORIA

A mi madre que ha dedicado su vida en cantidades inmensurables al bienestar de sus hijos, a ella infinitas gracias por apoyarme en este bonito proceso, a Dios por permitir que todos los sacrificios hechos durante la vida se vean recompensados de esta manera, culminando una de muchas etapas.

Brayan Steven Duque Posada

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, que me dio la oportunidad de realizar una de mis etapas de formación académica y profesional en esta universidad.

A mis compañeros de estudio y a todos los profesores que hicieron un aporte en el proceso de nuestra formación académica y profesional.

Al Ingeniero Oscar Gómez quien como director y profesor nos brindó sus conocimientos y tiempo durante la elaboración del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1 OBJETIVOS _____ 9

1.1 OBJETIVO GENERAL _____ 9

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____ 9

2 INTRODUCCIÓN _____ 12

2.1 Instalación eléctrica de distribución _____ 13

2.2 Redes de distribución aéreas _____ 13

2.3 Redes de distribución subterráneas _____ 14

2.4 Clasificación de las redes eléctricas de baja tensión _____ 15

2.5 Redes de distribución para cargas residenciales _____ 17

3 DISEÑO DE REDES ELECTRICAS DE BAJA TENSION _____ 19

3.1 Red abierta _____ 19

3.2 Redes cerradas _____ 19

3.2.1 Anillo _____ 20

3.2.2 Malla _____ 21

4 MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE REDES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN _____ 23

4.1 Parámetros concentrados de circuitos _____ 23

4.2 Circuito π _____ 23

4.3 Modelo T _____ 24

4.4 Regulación en sistemas monofásicos trifilares _____ 29

4.5 Regulación en sistemas trifásicos tetrafilares _____ 30

4.6 Demanda diversificada acumulada _____ 32

5 REQUERIMIENTOS PARA UN PROYECTO DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN _____ 37

6 CÁLCULO DE TENSIÓN, CORRIENTE Y POTENCIA _____ 40

7 DESCRIPCIÓN DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO _____ 43

7.1 Selección del DPS _____ 45

7.2 Selección del corta circuito _____ 46

8 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES _____ 48

8.1 Selectividad _____ 48

9 CONCLUSIONES _____ 56

10 BIBLIOGRAFIA _____ 57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Regulación máxima permitida [2] _____32

Tabla 2. Demanda diversificada acumulada por estratos socioeconómicos [2]**¡Error! Marca**

Tabla 3. Constante K para redes de baja tensión preensambladas (Aluminio) [2]_____ 34

Tabla 4. Constante K para redes de baja tensión preensambladas (cobre) [2] __34

Tabla 5. Fusibles para transformador monofásico a 13,2 kV [2**]** _____46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de un sistema de distribución dentro de un sistema de potencia [3]……12

Figura 2. Sistemas de distribución de baja tensión [3]……...16

Figura 3. Red radial concentrada con final ramificado……...19
Figura 4. Red de distribución, configuración en anillo……..20
Figura 5. Red de distribución, configuración en malla……...21
Figura 6. Red de parámetros concentrados…….....23
Figura 7. Modelo circuito π…….....24
Figura 8. Circuito modelo T……..……..25
Figura 9. Aproximación del modelo π…….....25
Figura 10. Diagrama fasorial de V_s…….....25
Figura 11. Sistema monofásico trifilar balanceado…….....26
Figura 12. Sistema trifásico tetrafilar balanceado…….....28
Figura 13. Red de un solo tramo…….....35
Figura 14. Plantilla memorias de cálculo…….....41
Figura 15. Templete directo a tierra [2]…….....43
Figura 16. Diagrama unifilar del proyecto…….....43

Figura 17. Tabla de fusibles tipo K y T…….....47
Figura 18. Selectividad [1]…….....49
Figura 19. Diagrama unifilar transformador 75 kVA…….....49
Figura 20. Corta circuito de media tensión…….....50
Figura 21. Transformador 75 kVA monofásico…….....50
Figura 22. Mini breaker…….....51
Figura 23. Curva de corriente vs tiempo, transformador 75 kVA……..51
Figura 24.Diagrama unifilar transformador 50 kVA…….....52
Figura 25. Transformador 50 kVA monofásico…….....52
Figura 26. Mini Breaker…….....53
Figura 27. Curva de corriente vs tiempo, transformador 50 kVA……..53
Figura 28. Diagrama unifilar transformador 37,5 kVA……...54
Figura 29. Transformador 37,5 kVA monofásico…….....54
Figura 30. Mini Breaker…….....55
Figura 31. Curva de corriente vs tiempo, transformador 37,5 kVA……55

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una red eléctrica de distribución de baja tensión según los requerimientos que la empresa de energía de Pereira exige para la aprobación de un proyecto de red eléctrica de baja tensión**.**

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el área de la zona urbana de la ciudad de Pereira para implementar el diseño de una red eléctrica de distribución de baja tensión, esta área mínimo debe contar con 250 viviendas.

- Realizar el plano de la zona urbana debe ser hecho en el software AUTOCAD, al igual que el diseño de la red eléctrica, y el diagrama unifilar del transformador y sus protecciones, hasta el medidor.

- Considerar que el diseño de la red eléctrica debe tener, apoyos o postes, abonados conectados a los postes, calibre de los conductores de la red secundaria de distribución, transformadores, conjuntos utilizados para la conexión entre poste y poste, cumplimiento de los esfuerzos mecánicos por medio de la ubicación de templetes.

- Ubicar los medidores de energía eléctrica en cada una de las viviendas.

- Ubicar los postes adecuados, con las distancias interpostales exigidas por la norma de la empresa de energía de Pereira.

- Ubicar los postes en las aceras del área residencial de tal manera que se cumplan las distancias de seguridad establecidas en el (RETIE) para el nivel de tensión que se va a manejar.

- Conectar los usuarios (abonados) a través de la acometida hasta los postes, respetando la longitud máxima que puede tener el cable de acometida y el número máximo de derivaciones que se puede hacer desde cada apoyo o poste.

- Determinar las distancias entre apoyos y el número de abonados que hay en cada apoyo. Dependiendo del número de abonados que se haya

conectado en cada poste se hace uso del concepto de demanda diversificada expuesto den la norma de la empresa de energía de Pereira.

- Realizar los cálculos correspondientes para determinar, el calibre de los conductores de la red secundaria de distribución, el transformador, tipo de conductor que se va a utilizar, protecciones contra sobre corrientes y sobre tensiones. Todos estos cálculos deben ir sujetos a las normas de la empresa de energía de Pereira, que son basadas en normas nacionales e internacionales.

- Realizar la coordinación de protecciones con ayuda del software LSPS manager.

2 INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica ha crecido exponencialmente lo que genera la ampliación o la construcción de nuevas redes de distribución de energía eléctrica. Cualquier diseño debe cumplir con lo establecido en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y con la norma del operador de red donde se vaya a llevar a cabo la construcción o remodelación de la red. En este documento se omiten aspectos de diseño que se exigen en el (RETIE) y que son de obligatorio cumplimiento, por razones que se justificaran a lo largo del documento.

En la figura 1 se puede observar el esquema de conexión de un sistema de potencia, allí se puede ubicar el sistema de distribución.

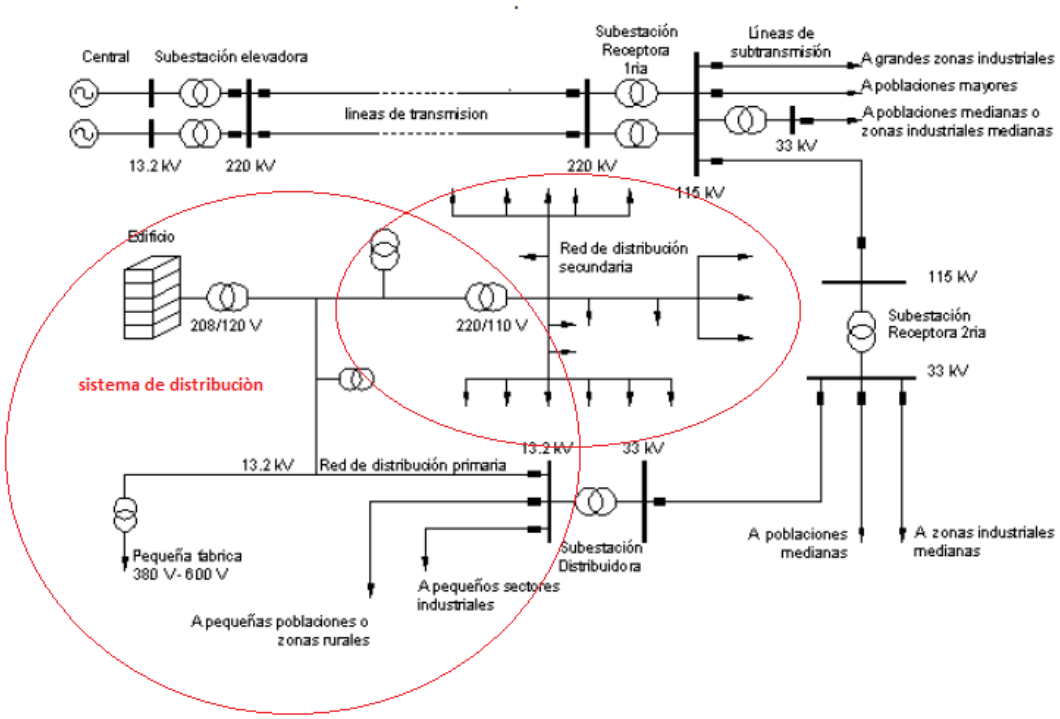


Figura 1. Ubicación de un sistema de distribución dentro de un sistema de potencia [3]

El sistema de distribución es importante ya que aproximadamente la 2/3 de la inversión del sistema eléctrico de potencia está dedicado a la parte de distribución. Lo que implica un trabajo cuidadoso en el planeamiento, diseño, construcción y operación del sistema de distribución [3].

Debido a que es un sistema con gran volumen de elementos y niveles de tensiones muy bajos se producen grandes pérdidas de energía.

2.1 Instalación eléctrica de distribución

Según el (RETIE) es todo conjunto de dispositivos y de circuitos asociados para el transporte y la transformación de energía eléctrica, cuyas tensiones sean iguales o superiores a 120 V y menores a 57,5 kV [4].

En concreto solo se ilustrará el diseño de una red eléctrica de distribución de baja tensión (red secundaria) de acuerdo a lo que establece la norma del operador de la red. Para este caso la norma de la empresa de energía de la ciudad de Pereira (EE.PP).

Existen dos tipos de redes eléctricas de distribución de baja tensión, aéreas y subterráneas.

La característica principal que diferencia estas redes es su disposición geográfica, una red eléctrica de distribución de baja tensión aérea se hace a través de postes, herrajes y conductores aéreos, es decir, a la vista. Una red eléctrica de distribución de baja tensión subterránea se hace a través de ductos, accesorios y conductores aislados de cobre que se introducen en los ductos subterráneos.

2.2 Redes de distribución aéreas

En esta modalidad, el conductor que usualmente está desnudo, va soportado a través de aisladores instalados en crucetas, en postes de madera o concreto [3].

Las partes principales que conforman un sistema aéreo son:

a) **Postes:** que 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. Son utilizados para sistemas urbanos postes de concreto de 14, 12 y 10 metros con resistencia de rotura de 1050, 750 y 510 kg respectivamente.

b) **Conductores:** son utilizados para circuitos primarios el Aluminio y el ACSR desnudos y en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y para circuitos secundarios en cables desnudos o aislados y 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.

c) **Crucetas:** son utilizadas crucetas de madera inmunizada o de ángulo de hierro galvanizado de 2 metros para 13.2 kV. y 11.4 kV. Con diagonales en varilla o de ángulo de hierro (pie de amigo).

d) **Aisladores:** Son de tipo ANSI 55.5 para media tensión (espigo y disco) y ANSI 53.3 para baja tensión (carretes).

e) **Herrajes:** todos los herrajes utilizados en redes aéreas de baja y mediana tensión son de acero galvanizado. (Grapas, varillas de anclaje, tornillos de máquina, collarines, ues, espigos, etc.).

f) **Equipos de seccionamiento:** el seccionamiento se efectúa con cortacircuitos y seccionadores
monopolares para operar sin carga (100 A - 200 A).

g) **Transformadores y protecciones:** se emplean transformadores monofásicos con los siguientes valores de potencia o nominales: 3 – 5 -10- 15 -25 - 37.5 - 50 – 75 - 100 kVA y para transformadores trifásicos de 30 - 45 - 75 -112.5 y 150 kVA protegidos por cortacircuitos, fusible y pararrayos tipo válvula de 12 kV.

2.3 Redes de distribución subterráneas

Son empleadas en zonas donde por razones de urbanismo, estética, congestión o condiciones de seguridad no es aconsejable el sistema aéreo. Actualmente el sistema subterráneo es competitivo frente al sistema aéreo en zonas urbanas céntricas [3].

Las partes principales que conforman un sistema subterráneo son:

a) **Ductos:** que pueden ser de asbesto cemento, de PVC o conduit metálicos con diámetro mínimo de 4 pulgadas.

b) **Cables:** pueden ser monopolares o tripolares aislado en polietileno de cadena cruzada XLPE, de polietileno reticulado EPR, en caucho sintético y en papel impregnado en aceite APLA o aislamiento seco elastomérico en calibres de 500 - 400 - 350 - 250 MCM, 4/0 y 2/0 AWG en sistemas de 13.2 kV, 7,6 y 4,16 kV.

c) A pesar de que existen equipos adecuados, resulta difícil y dispendioso localizar las fallas en un cable subterráneo y su reparación puede tomar mucho tiempo, se recomienda construir estos sistemas en anillo abierto con el fin de garantizar la continuidad del servicio en caso de falla y en seccionadores entrada - salida.

d) Los cables a instalar en baja tensión son aislados a 600 V con polietileno termoplástico PE-THW y recubierto con una chaqueta protectora de PVC y en calibres de 400 - 350 - 297 MCM 4/0 y 2/0 AWG generalmente.

e) **Cámaras:** que son de varios tipos siendo la más común la de inspección y de empalme que sirve para hacer conexiones, pruebas y reparaciones. Deben poder alojar a 2 operarios para realizar los trabajos. Allí llegan uno o más circuitos y pueden contener equipos de maniobra, son usados también para el tendido del cable. La distancia entre cámaras puede variar, así como su forma y tamaño.

f) **Empalmes uniones y terminales**: que permiten dar continuidad adecuada, conexiones perfectas entre cables y equipos.

Se puede utilizar la cualquiera de los dos tipos de red eléctrica, siempre y cuando se cumpla con lo que establezca el operador de la red. Generalmente las redes aéreas se realizan en zonas residenciales que no tienen un carácter privado y cuyas vías son de orden público; y las redes subterráneas se hacen en zonas privadas como condominios.

2.4 Clasificación de las redes eléctricas de baja tensión

En Colombia existen varias tensiones de diseño para redes de baja tensión que permiten abastecer el servicio residencial, comercial, pequeñas industrias y alumbrado público aunque es poco recomendable este último [3]. Como el proyecto está basado en la parte residencial solo se nombraran los niveles de tensión que se manejan allí.

- Monofásico trifilar 240/120 V con punto central a tierra.
- .Trifásico tetrafilar 208/120 V con nuetro a tierra.
- Trifásico en triangulo con transformadores monofásicos, de los cuales solo uno tiene conexión a tierra 240/120.

En la figura 2 se muestran algunos de estos sistemas

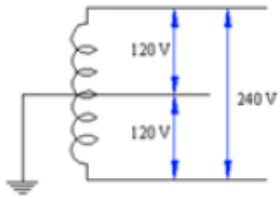
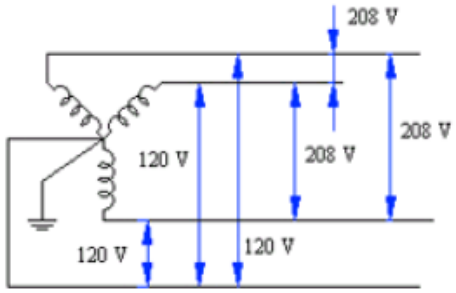
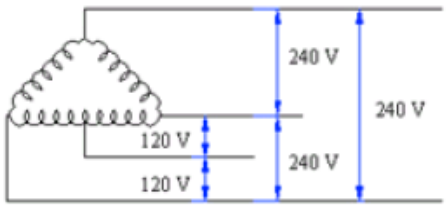
Tension electrica secundaria y tipo de sistema	Diagrama de conexiones y tensiones electricas secundarias	Utilizacion y disposicion recomendada
120 / 240 V. Monofásico trifilar Neutro sólido a tierra		Zonas residenciales urbanas. Zonas rurales - Alumbrado público. Redes aéreas. Subterranea en zonas residenciales clase alta.
120 / 208 V Trifásico tetrafilar en estrella Neutro sólido a tierra		Zonas comerciales e industriales. Zonas residenciales urbanas. Zonas rurales con cargas trifasicas. Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea en zonas centricas.
120 / 240 V Trifasico tetrafilar en Δ con devanado partido		Zonas comerciales e industriales. Zonas residenciales urbanas Zonas rurales con cargas trifásicas. Alumbrado público. Redes aéreas. Subterranea según especificaciones.

Figura 2. Sistemas de distribución de baja tensión [3]

Es de afirmar que el proyecto se va a realizar en una zona urbana, la cual tiene como características [3]:

- Usuarios muy concentrados.
- Cargas bifilares, trifilares y trifásicas.
- Facilidad de acceso.
- En general se usa posteria en concreto.
- Es necesario coordinar trazados de la red eléctrica con las redes telefónicas, redes de acueducto, alcantarillados y otras redes, igualmente tener en cuenta los parámetros de las edificaciones.
- Se usan conductores de aluminio, ACSR y cobre.
- Facilidad de transporte desde los proveedores de materiales y equipos al sitio de la obra.

- Transformadores generalmente trifásicos en áreas de alta densidad de carga y monofásicos trifilares en áreas de carga moderada.
- El trabajo en general puede ser mecanizado.
- La separación entre conductores y estructuras de baja tensión y media tensión son menores.
- En caso de remodelaciones y arreglos es necesario coordinar con las empresas de energía los cortes del servicio.

Como se está trabajando con la norma de la empresa de energía de Pereira, esta hace un énfasis muy claro en:

"Para proyectos de tipo residencial que se desarrollen en el área de influencia de la Empresa, los transformadores de distribución a instalar deberán ser **monofásicos con una capacidad menor o igual a 100 kVA**".
Es claro que para el proyecto se deben utilizar transformadores monofásicos.

Además de la clasificación que se hace por zona urbana, también hay otro tipo de clasificación y es por el tipo de carga, para este caso se clasifica como redes de distribución para cargas residenciales.

2.5 Redes de distribución para cargas residenciales

Comprenden básicamente los edificios de apartamentos, multifamiliares, condominios, urbanizaciones, etc. Estas cargas se caracterizan por ser eminentemente resistivas (alumbrado y calefacción) y aparatos electrodomésticos de pequeñas características reactivas. De acuerdo al nivel de vida y a los hábitos de los consumidores residenciales y teniendo en cuenta que en los centros urbanos las gentes se agrupan en sectores bien definidos, de acuerdo a las clases socioeconómicas, los abonados residenciales se clasifican así [3]:

a) Zona clase alta: constituida por usuarios que tienen un alto consumo de energía eléctrica (estratos 5 y 6).
b) Zona clase media: conformado por usuarios que tienen un consumo moderado de energía eléctrica (estrato 4).
c) Zona clase baja: conformado por usuarios de barrios populares que tienen un consumo bajo de energía eléctrica (estratos 1,2 y 3).
d) Zona tugurial: dentro de la cual están los usuarios de los asentamientos espontáneos sin ninguna planeación urbana y que presentan un consumo muy bajo de energía.

Es así como teniendo claros estos conceptos básicos, se puede diseñar por lo menos los aspectos más importantes de una red eléctrica de distribución de baja tensión.

3 DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

El diseño de este tipo de redes considera aspectos importantes los cuales se deben tener en cuenta para que esta sea segura y confiable. A continuación se presentan algunos de las configuraciones que puede tener una red eléctrica de distribución de baja tensión.

3.1 Red abierta

La red abierta puede ser radial, de cargas concentradas o red radial de cargas concentradas.

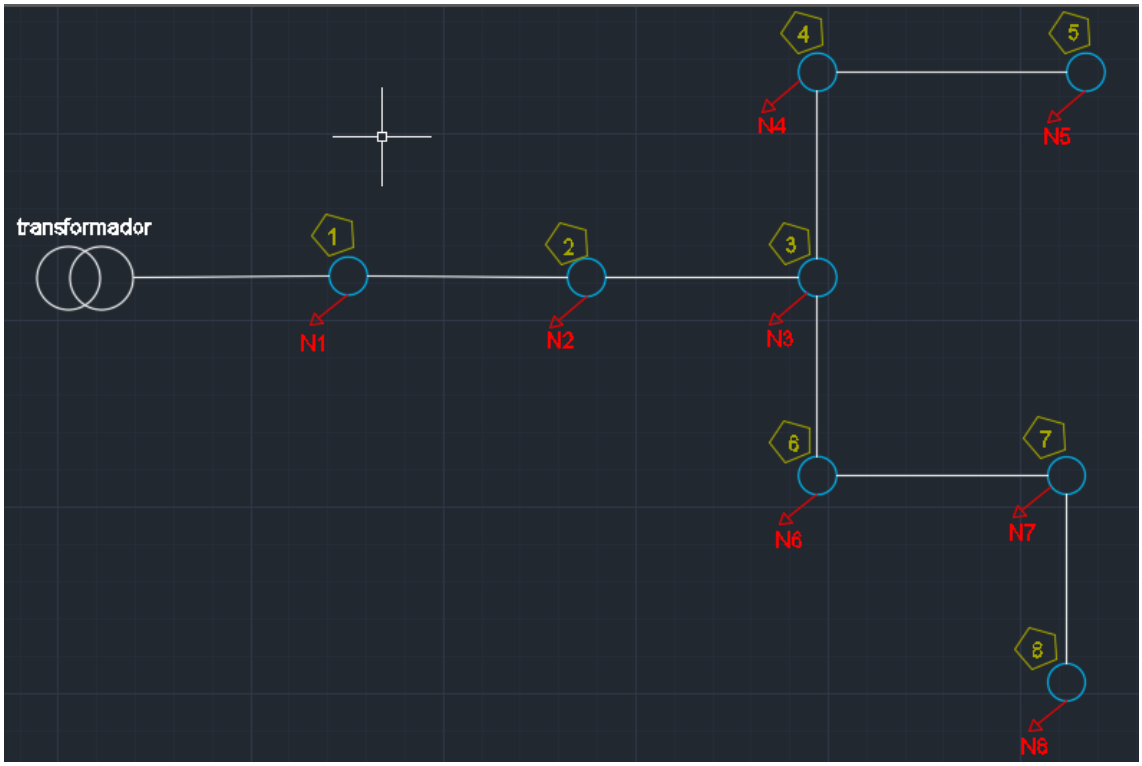


Figura 3. Red radial concentrada con final ramificado

N: Número de abonados conectados al apoyo.

3.2 Redes cerradas

Pueden tener dos configuraciones:

3.2.1 Anillo

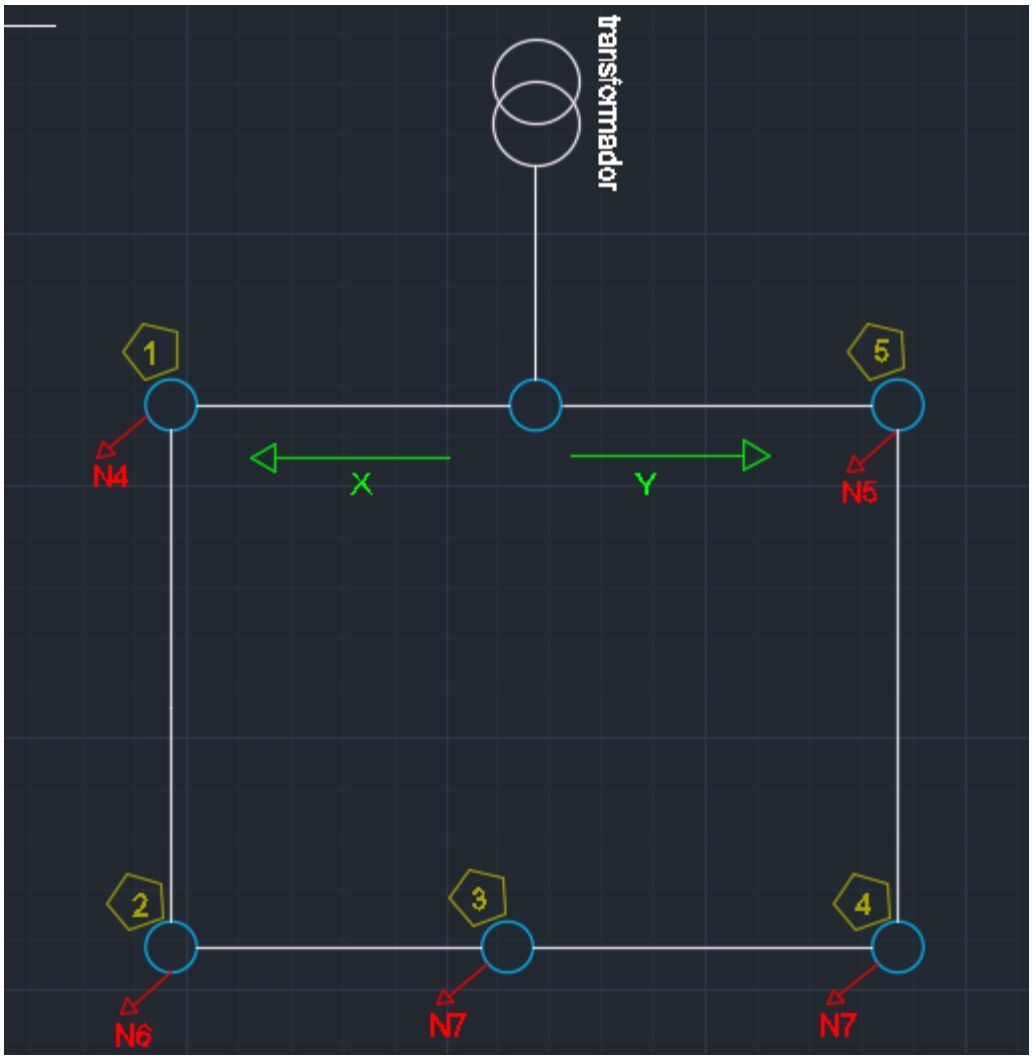


Figura 4. Red de distribución, configuración en anillo

Y=-X

La corriente se divide, por tanto, la capacidad de corriente del conductor disminuye, es decir, un calibre del conductor es menor.

3.2.2 Malla

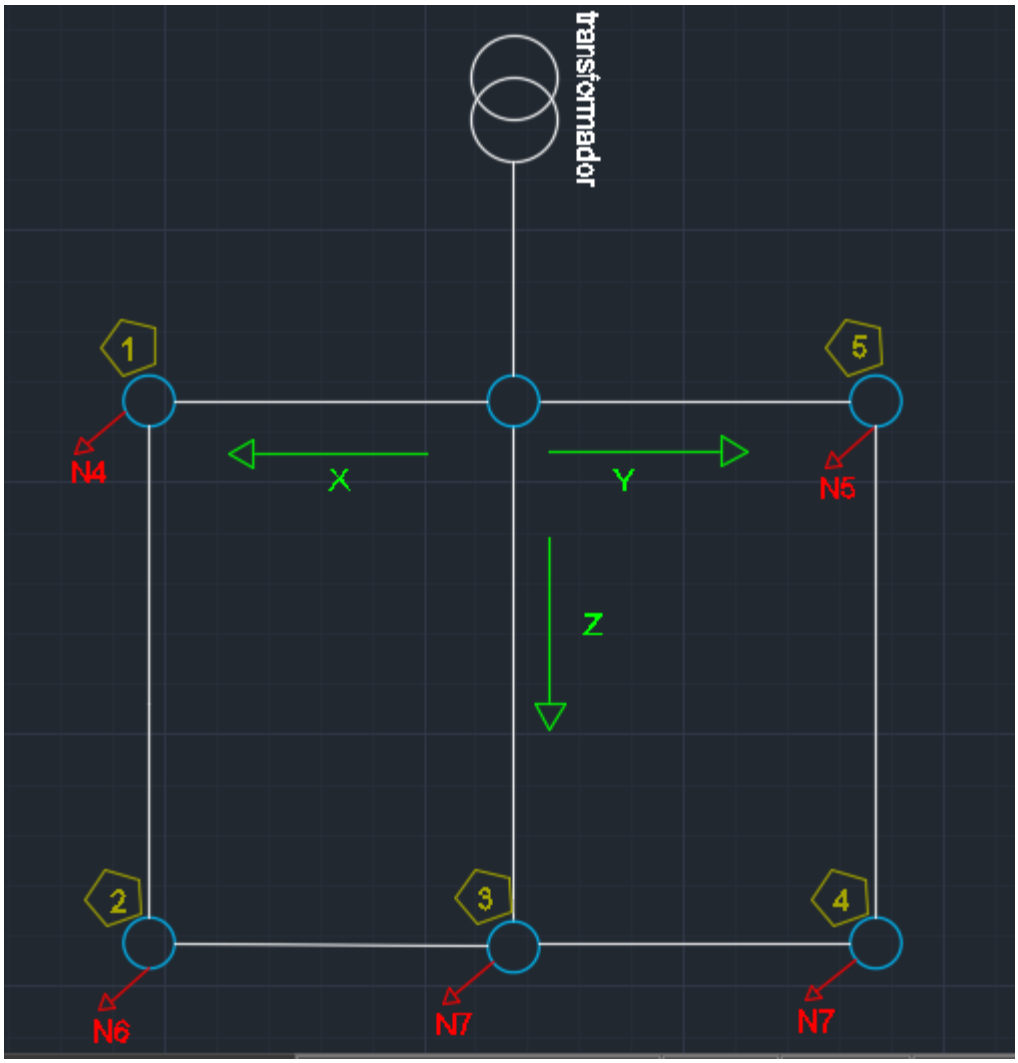


Figura 5. Red de distribución, configuración en malla

También se pueden tener redes mixtas, es decir, una combinación de abiertas y cerradas en cualquiera de sus configuraciones.

Para el diseño de la red eléctrica de baja tensión se utiliza la configuración de red radial concentrada con final ramificado. Una observación importante que hace la empresa de energía de Pereira es:

“No se permitirá en las redes de baja tensión, el cambio de calibre en los tramos del tendido entre el transformador y el terminal de un ramal (redes telescópicas); ni tampoco el cambio de calibre cuando no se puedan

compensar, debidamente, los desequilibrios longitudinales actuantes sobre un apoyo".

4 MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE REDES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

4.1 Parámetros concentrados de circuitos

Los parámetros de la línea son resistivos, inductivos, y capacitivos.
La resistencia representa elevación de la temperatura en la red.
La inductancia representa las perdidas por inducción magnética en la red
La capacitancia representa las perdidas por campo eléctrico de la red.

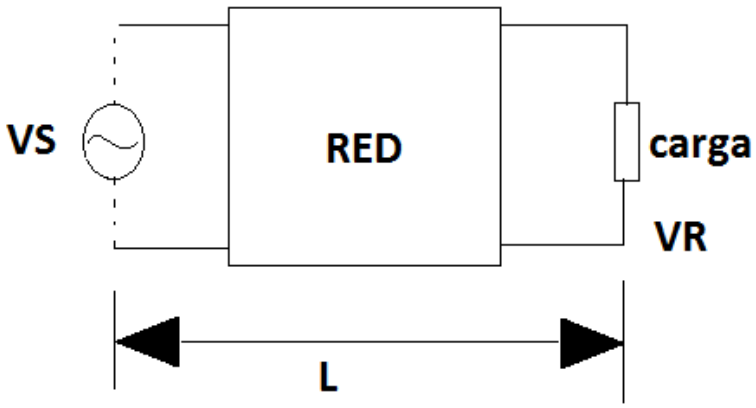


Figura 6. Red de parámetros concentrados

4.2 Circuito π

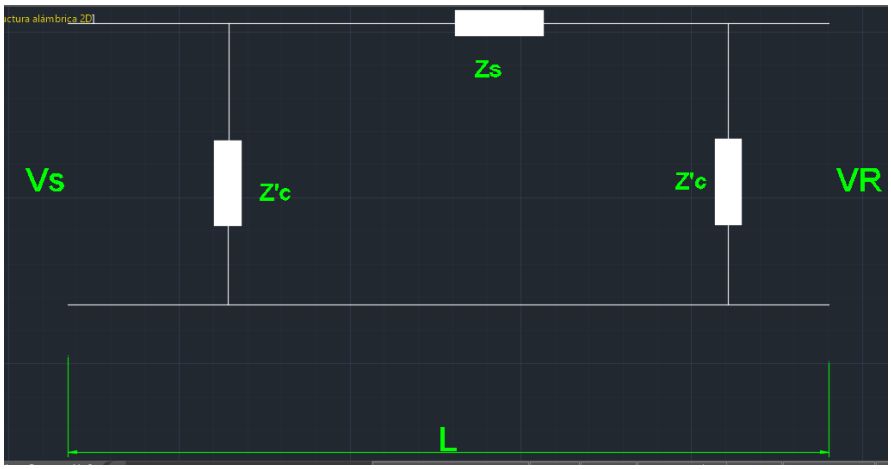


Figura 7. Modelo circuito π

4.3 Modelo T

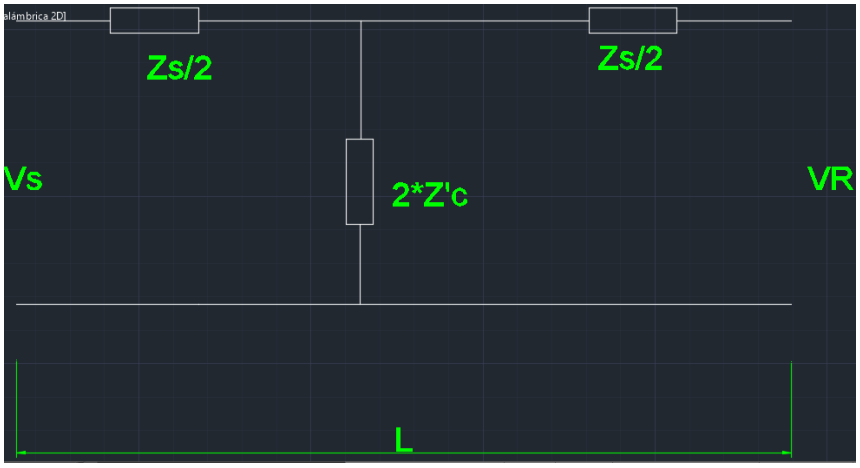


Figura 8. Circuito modelo T

Para el modelo π y el modelo T se tiene:

$$Z_s = (r + jX_L) * L \quad (1)$$

$$Z'_C = -\frac{j}{X_C * \frac{L}{2}} \quad (2)$$

Dónde:

Z_s: Impedancia serie

Z'_C: Impedancia capacitiva

r: Resistencia del circuito por unidad de longitud

X_L: Reactancia inductiva por unidad de longitud

X_C: Reactancia capacitiva por unidad de longitud

$V_{S:}$ Tensión de fase en el envió

V_R:Tension de fase en el recibo

L: Longitud total de la red.

Se debe tener en cuenta que las distancias son relativamente cortas y que las tensiones que se utilizan son relativamente bajas, esto en redes eléctricas de baja tensión. Por lo tanto se hace una aproximación de los modelos anteriores.

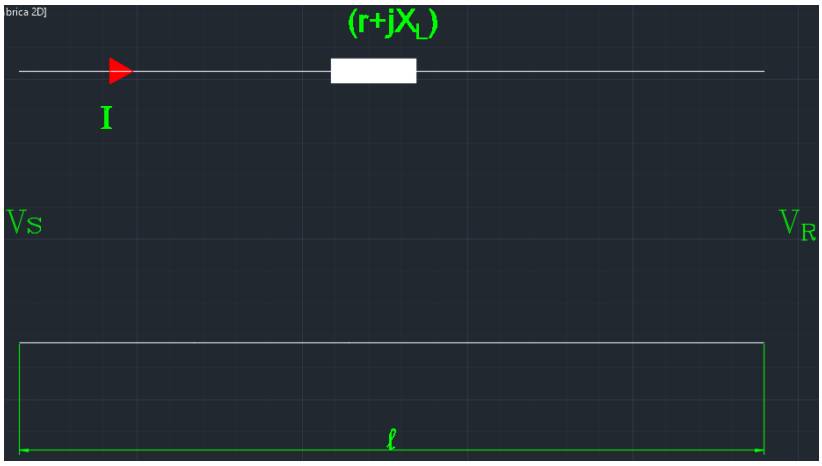


Figura 9. Aproximación del modelo π

En esta aproximación se desprecia la impedancia capacitiva. Por tanto la tensión de envió $\mathbb{V}_s$ puede hallarse a través de la expresión (3).

Todo el análisis matemático que se hace a continuación, es la base para determinar las expresiones necesarias para realizar la correcta elección de los conductores que tendrá la red eléctrica de baja tensión, el transformador y otros aspectos que exige la norma de la empresa de energía de Pereira para presentar un proyecto de distribución en baja tensión.

$$\mathbb{V}_s = (\mathbb{I}(r + jX_L) * l) + \mathbb{V}_R \qquad (3)$$

El diagrama fasorial de la expresión (3), es:

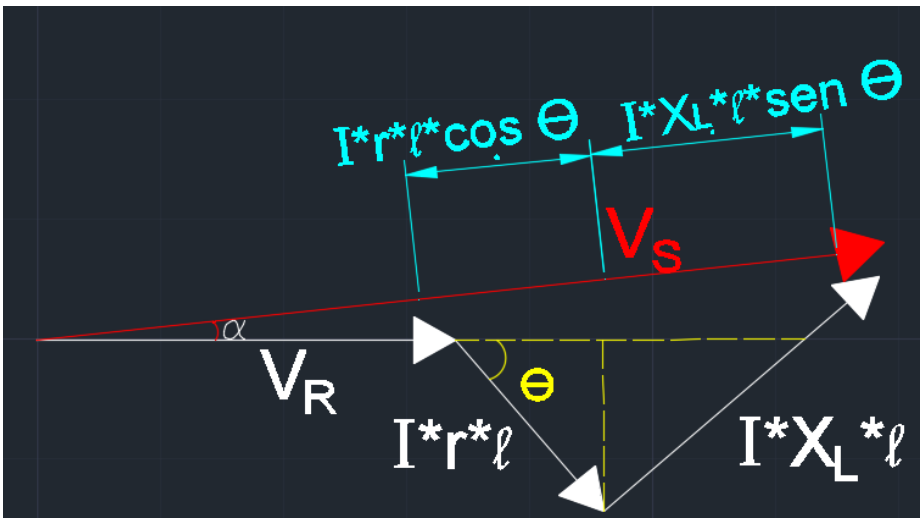


Figura 10. Diagrama fasorial de $\mathbb{V}_s$

Como el ángulo α tiende a cero entonces:

$$V_s = V_R + (I * l)(rcos\theta + X_L sen\,\theta) \quad (4)$$

$$\mathbb{V}_s - \mathbb{V}_R = \mathbb{I}(r + jX_L) * l \quad (5)$$

$$\|\mathbb{V}_s\| - \|\mathbb{V}_R\| = \Delta V \quad (6)$$

La regulación desde el envió hasta el recibo es la relación de la diferencia en magnitud de la tensión de envió y la tensión de recibo entre la tensión de recibo.

Expresada en porcentaje por la siguiente expresión:

$$\%Reg_{E-R} = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100 = \frac{\Delta V}{V_R} * 100 \quad (7)$$

De la ecuación (4) se tiene:

$$V_s - V_R = (I * l)(rcos\theta + X_L sen\,\theta) \quad (8)$$

Reemplazando la ecuación (8) en la (7) se obtiene:

$$\%Reg_{E-R} = \frac{(I * l)(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{V_R} * 100 \quad (9)$$

La I (corriente), en la expresión (9) puede ser monofásica o trifásica a continuación se muestran dos sistemas con cargas balanceadas, sistema monofásico y trifásico respectivamente.

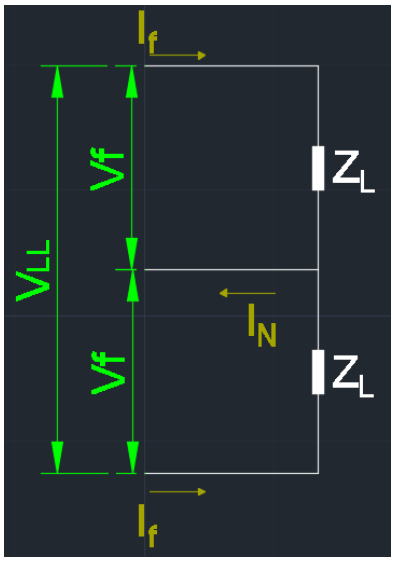


Figura 11. Sistema monofásico trifilar balanceado

Como el sistema monofásico trifilar es balanceado la corriente de neutro es cero ($I_N = 0$)

De la figura 11 se puede decir que:

$$V_{L-L} = 2V_f \quad (10)$$

$$V_f = V_{L-N}$$

Dónde:

V_{L-L}: Tensión línea a línea.

V_f: Tensión de fase o valor eficaz de V o tensión línea neutro.

Se sabe que la potencia aparente es el producto entre la corriente y la tensión.

$$S_f = V_f * I_f \quad (11)$$

I_f: Corriente de fase.

$$S_{1\Phi} = 2 * S_f \quad (12)$$

$S_{1\Phi}$: Potencia aparente monofásica.

Reemplazando la expresión (11) en la (12) se obtiene:

$$S_{1\Phi} = 2 * V_f * I_f \quad (13)$$

Despejando la corriente de fase (I_f) de la ecuación (13)

$$I_f = \frac{S_{1\Phi}}{2 * V_{L-N}} \quad (14)$$

Sistema trifásico tetrafilar balanceado, la corriente del neutro es cero ($I_N = 0$)

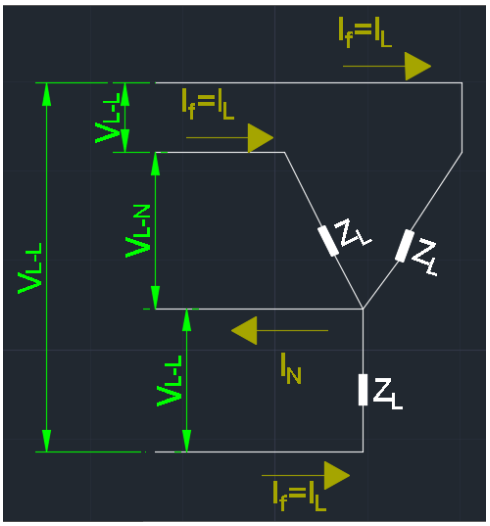


Figura 12. Sistema trifásico tetrafilar balanceado

De la figura (12) se puede decir que:

$$V_{L-L} = \sqrt{3} * V_{L-N} \tag{15}$$

Despejando V_{L-N} de la ecuación (15)

$$V_{L-N} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \tag{16}$$

Ahora

$$S_{3\Phi} = 3S_{1\Phi} \tag{17}$$

Reemplazando la ecuación (11) en la (17) se tiene:

$$S_{3\Phi} = 3V_{L-N} * I_f \tag{18}$$

Reemplazando la ecuación (16) en la (18) se obtiene:

$$S_{3\Phi} = 3 * \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} * I_f \tag{19}$$

Despejando la corriente de fase de la ecuación (19)

$$I_f = \frac{S_{3\Phi} * \sqrt{3}}{3 * V_{L-L}} \tag{20}$$

4.4 Regulación en sistemas monofásicos trifilares

Partiendo de la ecuación (9) y reemplazando la ecuación (14) en la mencionada antes, se tiene:

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = \frac{S_{1\Phi}}{2 * V_{L-N}} * \frac{l * (rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{V_{L-N}} * 100$$

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = \frac{S_{1\Phi}}{2 * (V_{L-N})^2} * l * (rcos\theta + X_L sen\,\theta) * 100 \quad (21)$$

La tensión línea neutro es la mitad de la tensión line alinea en sistemas monofásicos

$$V_{L-N} = \frac{V_{L-L}}{2} \quad (22)$$

Reemplazando la ecuación (22) en la (21)

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = \frac{S_{1\Phi}}{2 * \left(\frac{V_{L-L}}{2}\right)^2} * l * (rcos\theta + X_L sen\,\theta) * 100$$

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = S_{1\Phi} * l \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{(V_{L-L})^2}\right] * 100 * 2 \quad (23)$$

De la ecuación (23) se tiene que:

$$M.P = S_{1\Phi} * l \quad (24)$$

$$K_{1\Phi} = \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{(V_{L-L})^2}\right] * 100 * 2 \quad (25)$$

Dónde:

$M.P$: Momento de potencia.

$K_{1\Phi}$: Constante monofásica de regulación.

Entonces:

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = M.P * K_{1\Phi} \quad (26)$$

La empresa de energía de Pereira dice de la ecuación (26) lo siguiente:

En el área de influencia de la Empresa, para efectos de cálculo de la regulación de tensión en las redes Nivel I (menor de 1 kV), se empleará la expresión del método “Tramo a Tramo” o de cargas concentradas, es decir, la expresión (26).

4.5 Regulación en sistemas trifásicos tetrafilares

Partiendo de la ecuación (9) y reemplazando la ecuación (20) en la mencionada antes, se tiene:

$$\%Reg_{E-R(3\Phi)} = \frac{S_{3\Phi} * \sqrt{3}}{3 * V_{L-L}} * \frac{l * (rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{\left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}}\right)} * 100$$

$$\%Reg_{E-R(3\Phi)} = \frac{S_{3\Phi} * \sqrt{3}}{3 * V_{L-L}} * \frac{l * (rcos\theta + X_L sen\,\theta) * \sqrt{3}}{V_{L-L}} * 100$$

$$\%Reg_{E-R(3\Phi)} = \frac{S_{3\Phi} * (\sqrt{3})^2}{3 * V_{L-L}} * \frac{l * (rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{V_{L-L}} * 100$$

$$\%Reg_{E-R(3\Phi)} = S_{3\Phi} * l \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{(V_{L-L})^2}\right] * 100 \quad (27)$$

De la ecuación (27) se tiene que:

$$M.P = S_{3\Phi} * l \quad (28)$$

$$K_{3\Phi=} \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{(V_{L-L})^2}\right] * 100 \quad (29)$$

Dónde:

$M.P$: Momento de potencia.

$K_{3\Phi}$: Constante trifásica de regulación.

Entonces:

$$\%Reg_{E-R(3\Phi)} = M.P * K_{3\Phi} \quad (30)$$

Retomando el numeral 4.4

De esta manera es posible calcular la regulación ya sea trifásica o monofásica, dependiendo del tipo de proyecto que se va a llevar a cabo.

Análisis dimensional de la ecuación (23)

Para mayor comodidad se nombra de nuevo esta ecuación:

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = S_{1\Phi} * l \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{(V_{L-L})^2}\right] * 100 * 2 \quad (23)$$

$S_{1\Phi}$: volt ampers (VA)

l: metros (m)

$(rcos\theta + X_L sen\,\theta)$: ohms por cada metro (Ω/m)

V_{L-L}: volts (V)

En la práctica

$S_{1\Phi}$: kVA

l: metros (m)

$(rcos\theta + X_L sen\,\theta)$: ohms por cada kilómetro (Ω/km)

V_{L-L}: kilo volts (kV) se da en estas unidades porque se trabaja con la tensión de alta del transformador.

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = kVA * 10^3 * l \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)\frac{\Omega}{m} * 10^{-3}}{(V_{L-L})^2 * 10^6}\right] * 10^2 * 2$$

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = kVA * l \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)}{(V_{L-L})^2}\right] * 10^{-4} * 2$$

$$M.P = kVA * l \quad (31)$$

$$K_{1\Phi} = \left[\frac{(rcos\theta + X_L sen\,\theta)\frac{\Omega}{m}}{(V_{L-L})^2}\right] * 10^{-4} * 2 \quad (32)$$

La regulación monofásica se calculara a través de las ecuaciones (31) y (32)

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = M.P * K_{1\Phi} \quad (33)$$

En la tabla 1, se muestra la regulación máxima permitida según la empresa de energía de Pereira para diferentes niveles de tensión.

Elemento del Sistema	Área a Alimentar	Límites para la Regulación		Regulación Máxima Permitida (%)
		Desde	Hasta	
Transformador	Urbana, Rural			2.5
Red 240 V	Urbana	Salida transformador	Acometida a último cliente	5.0
Red 240 V	Rural	Salida transformador	Acometida a último cliente	5.0
Acometida	Urbana	Caja portabornera de derivación	Contador	0.5
Acometida	Rural	Caja portabornera de derivación	Contador	0.5
Alumbrado público	Urbano	Salida transformador	Última luminaria instalada	RETILAP (5%)

Tabla 1. Regulación máxima permitida [2].

Partiendo de lo que en la tabla 1 se expone, y sabiendo que el proyecto se va a realizar en una zona urbana es importante resaltar que la regulación máxima permitida para dicha zona es del 5% desde la salida del transformador hasta la acometida del último cliente.

Para garantizar este porcentaje de regulación sea menor o igual a este 5% exigido por la empresa se hace uso de una nueva ecuación.

$$K_{calculada} = \%\frac{Reg}{M.P} \tag{34}$$

Como se sabe el momento de potencia ($M.P$) es el producto entre la potencia aparente y la longitud de la red.

4.6 Demanda diversificada acumulada

La empresa de energía de Pereira realizo un estudio para determinar la potencia que consume un usuario, lo que se denomina demanda diversificada acumulada.

La capacidad requerida del transformador para alimentar un determinado número de clientes, se realizará con base en las demandas consignadas en la Tabla 2.

ESTRATO 1-2					ESTRATO 3-4				ESTRATO 5-6			
No Usuarios	kVA por Usuario 1-2	kVA Totales	kVA Trafo 1ϕ	% USO	kVA por Usuario 3-4	kVA Totales	kVA Trafo 1ϕ	% USO	kVA por Usuario 5-6	kVA Totales	kVA Trafo 1ϕ	% USO
1	1.19	1.19	3	39.81	2.75	2.75	3	91.52	3.72	3.72	5	74.30
2	0.83	1.66	3	55.41	1.55	3.10	3	103.47	2.28	4.57	5	91.32
3	0.71	2.13	3	71.01	1.15	3.46	5	69.26	1.81	5.42	5	108.35
4	0.65	2.60	3	86.58	0.96	3.82	5	76.43	1.57	6.27	5	125.37
5	0.61	3.06	3	102.15	0.90	4.50	5	90.00	1.42	7.12	5	142.40
6	0.59	3.53	3	117.72	0.85	5.09	5	101.74	1.33	7.97	10	79.70
7	0.57	4.00	3	133.35	0.81	5.68	5	113.53	1.26	8.82	10	88.19
8	0.56	4.47	3	148.92	0.78	6.25	10	62.53	1.21	9.65	10	96.47
9	0.55	4.94	5	98.74	0.76	6.85	10	68.53	1.17	10.52	10	105.22
10	0.54	5.40	5	108.09	0.74	7.44	10	74.43	1.14	11.37	10	113.72
11	0.53	5.87	5	117.32	0.73	8.03	10	80.29	1.11	12.22	10	122.25
12	0.53	6.34	5	126.79	0.72	8.62	10	86.18	1.09	13.08	10	130.77
13	0.52	6.81	5	136.19	0.71	9.21	10	92.08	1.07	13.93	10	139.28
14	0.52	7.28	5	145.53	0.70	9.80	10	97.97	1.06	14.78	15	98.53
15	0.52	7.74	10	77.42	0.69	10.38	10	103.82	1.04	15.62	15	104.17
16	0.51	8.21	10	82.08	0.69	10.97	10	109.73	1.03	16.48	15	109.84
17	0.51	8.68	10	86.75	0.68	11.56	10	115.59	1.02	17.33	15	115.55
18	0.51	9.14	10	91.45	0.68	12.15	15	81.00	1.01	18.18	15	121.18
19	0.51	9.61	10	96.10	0.67	12.74	15	84.93	1.00	19.03	15	126.88
20	0.50	10.08	10	100.80	0.67	13.33	15	88.86	0.99	19.88	15	132.55
21	0.50	10.55	10	105.46	0.66	13.91	15	92.74	0.99	20.73	15	138.20
22	0.50	11.02	10	110.19	0.66	14.50	15	96.69	0.98	21.59	25	86.34
23	0.50	11.49	10	114.89	0.66	15.09	15	100.60	0.98	22.43	25	89.72

Tabla 2. Demanda diversificada acumulada por estratos socioeconómicos [2].

Si el número de abonados es mayor a 23, la demanda total (DT) se calcula por medio de las expresiones (35):

Estrato 5 y 6: $D_T = N_a * 0.98$

Estrato 4 y 3: $D_T = N_a * 0.66$ (35)

Estrato 2 y 1: $D_T = N_a * 0.50$

Dónde:

D_T: Demanda Total acumulada, kVA
N_a: Número de abonados

De esta manera es posible calcular el momento de potencia para una red abierta, pues se tiene la longitud del tramo y con la tabla 2 se obtiene la potencia.

Ahora se considera la regulación máxima (5%) para determinar la $K_{calculada}$, esto se hace para determinar el calibre de conductor que se va a utilizar en la red. Se debe recordar que la empresa de energía de Pereira no permite redes telescópicas. La constante K tomará, según el caso, su valor entre los valores consignados en la tablas 3 y 4.

CALIBRE (AWG)	K- TRIFÁSICA 1/(kVA.m)		K- MONOFÁSICA 1/(kVA.m)	
	FACTOR DE POTENCIA 0.8	FACTOR DE POTENCIA 0.9	FACTOR DE POTENCIA 0.8	FACTOR DE POTENCIA 0.9
2	0.00185	0.00203	0.00279	0.00305
1/0	0.00121	0.00131	0.00182	0.00197
2/0	0.00099	0.00106	0.00149	0.00159
4/0	0.00076	0.00080	0.00111	0.00117

Tabla 3. Constante K para redes de baja tensión preensambladas (Aluminio) [2].

CALIBRE: AWG o Kcmil	K- TRIFÁSICA 1/(kVA.m)		K- MONOFÁSICA 1/(kVA.m)	
	FACTOR DE POTENCIA 0.8	FACTOR DE POTENCIA 0.9	FACTOR DE POTENCIA 0.8	FACTOR DE POTENCIA 0.9
2	0.00123	0.00132	0.00184	0.00199
1/0	0.00082	0.00087	0.00124	0.00131
2/0	0.00068	0.00071	0.00102	0.00106
4/0	0.00047	0.00048	0.00071	0.00072

Tabla 4. Constante K para redes de baja tensión preensambladas (cobre) [2].

Ejemplo:

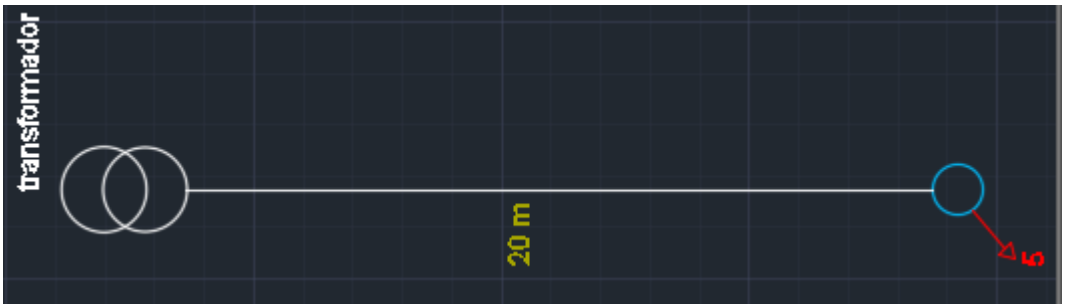


Figura 13. Red de un solo tramo

Se tienen 5 usuarios de estrato socio económico 5 conectados en un tramo de 20 m, determinar que el calibre del conductor del tramo, considerar un sistema monofásico trifilar, zona urbana y red aérea.

Primero se debe determinar la potencia que consumen 5 usuarios en este estrato socio económico. Esto se hace con ayuda de la tabla 2.

$$S_{5-usuarios} = 5{,}42\ kVA$$

Con el valor de la potencia y la longitud del tramo se puede calcular el momento de potencia, para ello se hace uso de la expresión (31).

$$M.P = 5{,}42\ kVA * 20\ m = 108{,}4$$

Se omite el prefijo k, es decir, 10^3 pues este prefijo ya se tiene en cuenta en la ecuación (33).

Según la tabla 1 la regulación máxima permitida para el último usuario es de 5%, para determinar el valor de la contante K para elegir el conductor se hace uso de la ecuación (34)

$$K_{calculada} = \%\frac{Reg}{M.P} = \frac{5}{108{,}4} = 46{,}125 * 10^{-3}$$

La manera adecuada de escoger el conductor es que la constante $K_{1\Phi}$ de la tabla 3 debe ser menor o igual a la $K_{calculada}$.

En la tabla 3 el calibre del conductor que cumple la condición anterior es 2 AWG.

Ahora se mirara si el porcentaje de regulación para con la constante $K_{1\Phi}$ "Real" cuyo valor es el que se expresa en la tabla 3 para el conductor elegido.

$$\%Reg_{E-R(1\Phi)} = 108{,}4 * 3{,}05 * 10^{-3} = 0{,}33062\%$$

Si se tienen varios apoyos y varios tramos se debe hacer la regulación para cada tramo, además se debe garantizar la regulación máxima permitida para el nodo terminal (NT), es decir, el último usuario de la red.

5 REQUERIMIENTOS PARA UN PROYECTO DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN

La empresa de energía de Pereira exige unos requerimientos para un proyecto de una red eléctrica de distribución de baja tensión, estos se citan a continuación [2]:

a) Análisis y cuadros de carga iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.
b) Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.
c) Análisis de cortocircuito y de falla a tierra.
d) Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
e) Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
f) Análisis del nivel de tensión requerido.
g) Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 del RETIE.
h) Cálculo de transformadores, incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.
i) Cálculo del sistema de puesta a tierra.
j) Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.
k) Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red, y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909 IEE242, capítulo 9 o equivalente.
l) Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.
m) cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC60974-2 Anexo A.
n) Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canaletas y electroductos), y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).
o) Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.
p) Cálculos de regulación.
q) Clasificación de áreas.
r) Elaboración de diagramas unifilares.
s) Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.
u) Establecer las distancias de seguridad requeridas.

v) Justificación técnica de desviación de la NTC250 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
w) Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

Los aspectos anteriores deben de ser cumplidos, en este caso el proyecto que se está realizando solo tiene en cuenta los ítems que a continuación se nombran:

f) Análisis del nivel de tensión requerido.
h) Cálculo de transformadores, incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga. Para este ítem solo se calcula el trasformador y el factor de carga.
j) Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía. Para este ítem se determine el conductor adecuado para la red diseñada, si la red es re diseñada y se obtienen mejores resultados los costos económicos disminuyen.
m) cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC60974-2 Anexo A. Para este ítem la coordinación de protecciones se hace a través del software LSPS manager.
o) Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.
p) Cálculos de regulación.
q) Clasificación de áreas.
r) Elaboración de diagramas unifilares.
s) Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
u) Establecer las distancias de seguridad requeridas. A continuación se nombran las distancias más importantes a tener en cuenta a la hora del diseño según la norma de la empresa de energía de Pereira y el RETIE:

- Distancia máxima interpostal 30 m [2]
- Longitud máxima permitida de la acometida 22 metros para la zona urbana, entendiéndose por acometida como el conjunto de conductores y accesorios entre el punto de conexión eléctrico del sistema de uso general (STN, STR, o SDL), y los bornes de salida del equipo de medición [4].

STN: Sistema de transmisión nacional.
STR: Sistema de transmisión regional.
SDL: Sistema de distribución local.

- El artículo 13: Distancias de seguridad, del RETIE. De este artículo se deben cumplir todos los aspectos relacionados con las redes eléctricas de baja tensión [4].

6 CÁLCULO DE TENSIÓN, CORRIENTE Y POTENCIA

Como se sabe las redes eléctricas deben cumplir con la regulación máxima permitida por la norma de la empresa de energía de Pereira, por esta razón la tensión de envío y la tensión de recibo es diferente en cada nodo o poste donde hayan conectados usuarios. A continuación se deduce la ecuación que permite calcular la tensión de recibo de un nodo.

Retomando la ecuación (7)

$$\%Reg_{E-R} = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100 \quad (7)$$

De la ecuación (7) se despeja la tensión de recibo (V_R)

$$V_R = \frac{V_S}{\frac{\%Reg_{E-R}}{100} + 1} \quad (36)$$

Se considera que la tensión de envío (V_S) en bornes del transformador es la tensión medida entre línea y línea, es decir, 240 V. Este valor va decrementando dependiendo de la regulación de cada tramo. Por esta razón el nodo terminal (NT) es el nodo con menor tensión de alimentación.

Para calcular la corriente de cada tramo se hace uso de la ecuación (37).

$$I_{tramo} = \frac{kVA}{V_S} * 1000 \quad (37)$$

Dónde:

I_{tramo}: Corriente del tramo.

kVA: Potencia tomada de la tabla de demanda diversificada.

V_S: Tensión de envío.

Por último se calculan las pérdidas de potencia en el conductor por efecto joule, por medio de la ecuación (38).

$$P_p = \frac{kVA * l * \left(\frac{R}{1000}\right)}{cos^2(\theta) * V_S^2} * 200 \quad (38)$$

Para hacer el proceso de cálculos más fácil se hace uso de Excel, a continuación se presenta la plantilla con la cual se trabaja el proyecto

MEMORIAS DE CÁLCULO																
NOMBRE DEL PROYECTO:																
	NUMERO DE ABONADOS			CARGA DIVERSIFICADA			CAPACIDAD DEL									
	ESTRATO SOCIOECONOMICO			CARGA ILUMINACION 70W-Na			FACTOR DE CARGA									
Tramo	Distancia	Aboandos	kVA - Div.	M.P.	Σ M.P.	K (Calcul)	K (real)	Conductor	% Regula	Σ % Regul	Tension - Nodo Envio (V)	Tension - Nodo recibo (V)	Corriente del Tramo (A)	Corriente nominal conductor (A) centelsa	Resistencia del conductor (Ω/km)	% Perdidas en el conductor (Joule)

Figura 14. Plantilla memorias de cálculo

Ahora se describirá cada casilla de la figura 14.

Número de abonados: Número total de abonados alimentados por un transformador monofásico o trifásico.

Estrato socioeconómico: Estrato al que pertenecen los usuarios de la red.

Carga diversificada: Carga (potencia) total consumida por todos los usuarios de la red, para calcular este valor se hace uso de la ecuación (35).

Carga de iluminación: Carga consumida por la iluminación de alumbrado público.

Capacidad del trasformador: Capacidad del transformador que satisface la red.

Factor de carga: Es la relación entre la carga diversificada más la carga de iluminación y la capacidad del transformador.

Tramo: Es una etiqueta que identifica dos puntos de la red o apoyos.

Distancias: Distancia entre apoyos de cada tramo.

Abonados: Número de usuarios a los que se debe suministrar la potencia requerida para un conjunto de tramos de la red.

KVA-DIV.: Potencia consumida según la tabla 2.

M.P.: Momento de potencia.

∑M.P.: Sumatoria de los momentos de potencia, esta sumatoria solo se hace en los nodos terminales (NT), es decir, el último nodo donde se conectan abonados, es allí donde se debe cumplir el máximo porcentaje de regulación permitido por el operador de la red.

K (Calcul): Contante K calculada, la cual se puede calcular a partir de la ecuación (34)

K (real): Es la constante k que se elige por medio de la tabla 3 o 4.

Conductor: Calibre de conductor que se elige a partir de la constante que (Kreal).

%Regula: Porcentaje de regulación, el cual se puede calcular a partir de la ecuación (33) para redes con transformadores monofásicos.

∑ **%Regul:** Es la suma algebraica de los porcentajes de regulación en cada nodo de la red.

Tensión nodo de envío: se considera nodo de envío, al nodo por el cual pasa primero el flujo de corriente.

Tensión nodo de recibo: Se considera nodo de recibo, al nodo por el cual el flujo de corriente pasa después de pasar por el de envío.

Corriente del tramo: Es la corriente que fluye por un tramo y esta se puede calcular a través de la ecuación (37).

Corriente nominal conductor: Es la corriente máxima que soporta el conductor, esta corriente está dada por el fabricante.

Resistencia del conductor: está dada en ohm por cada kilómetro, y este valor lo entrega el fabricante.

% perdidas en el conductor: Es la perdida que se da en el conductor por el efecto joule calculada en porcentaje a través de la ecuación (38).

7 DESCRIPCIÓN DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

A continuación se describe como se realizó el proyecto de una manera resumida.

Es importante conocer todo la parte teórica expuesta anteriormente en este documento, y también es necesario lo que la norma de la empresa de energía de Pereira exige para la presentación de un nuevo proyecto, pues a partir de toda esta información se procede a ubicar los apoyos o postes que deben cumplir con:

- La distancia máxima entre poste y poste, que es (30 metros).
- La profundidad de enterramiento del poste, esta profundidad depende de la altura del poste y se puede calcular a través de la expresión (39)

$$P_{enterramiento} = (0.1 * H) + (0.6\ m) \quad (39)$$

Donde H es la altura del poste.

- Todos los apoyos de la red eléctrica de distribución de baja tensión, deben soportar los esfuerzos mecánicos a los cuales se ven sometidos por los conductores. Para ello se deben utilizar diferentes configuraciones de templetes o retenidas para redes de baja tensión que se mencionan en el capítulo de baja tensión de la norma de energía de Pereira. Por ejemplo: para un templete directo a tierra.

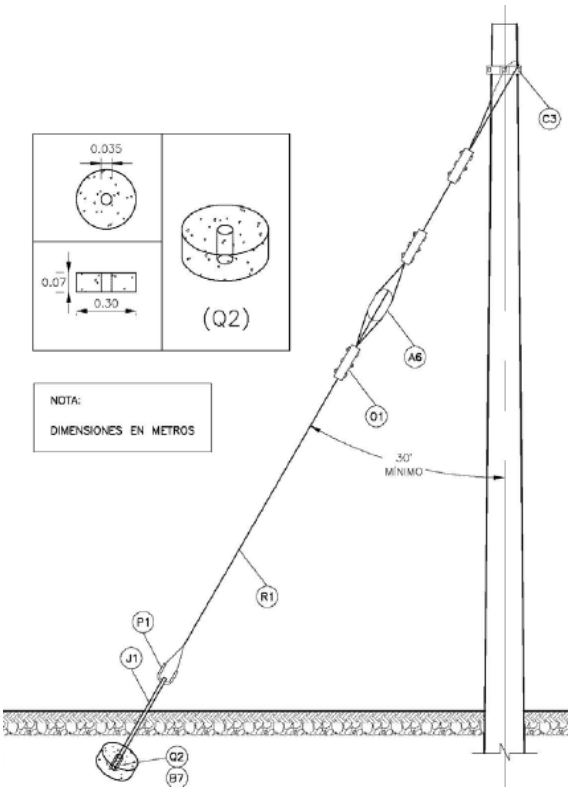


Figura 15. Templete directo a tierra

El ángulo mínimo que se debe formar entre el poste y el templete es de 30°. Con este ángulo y la altura prima del poste se puede hallar la distancia minina a la que debe quedar al templete del poste. La altura prima quiere decir:

$$H' = H - P_{enterramiento} - distancia\ \ de\ ubicacion\ de\ la\ abrazadera \quad (40)$$

- Selección de poste si es para red de baja tensión o de media tensión.

- Seleccionar el conjunto adecuado que va a permitir la conexión entre los apoyos.

- Conexión entre apoyos, esta conexión se realiza varias veces para que los costos económicos sean lo más mínimo posible.

Después de ubicar los postes se deben conectar los abonados a cada poste, recordando que el número máximo de abonados que se pueden conectar a las CDA (caja de derivación de abonados) es 9.

Por último se hace la plantilla de memorias de cálculo, es decir, se hacen los cálculos en Excel para cada red radial que se formó en la zona urbana escogida, en este caso una parte de corales-cuba. Para el proyecto se conformaron 4 redes radiales, es decir, se utilizaron 4 transformadores la capacidad de los transformadores depende del número de abonados conectados a la red, utilizando de la tabla 2 (demanda diversificada acumulada por estratos socioeconómico). A través de esta tabla también se calcula el porcentaje de regulación donde las más crítica se debe cumplir para los nodos terminales (5% regulación máxima permitida para zonas urbanas), calibre de los conductores y otros aspectos importantes para la red.

Después de realizar las memorias de cálculo para cada transformador eligen las protecciones de dichos transformadores. A continuación se muestra el diagrama unifilar de los transformadores:

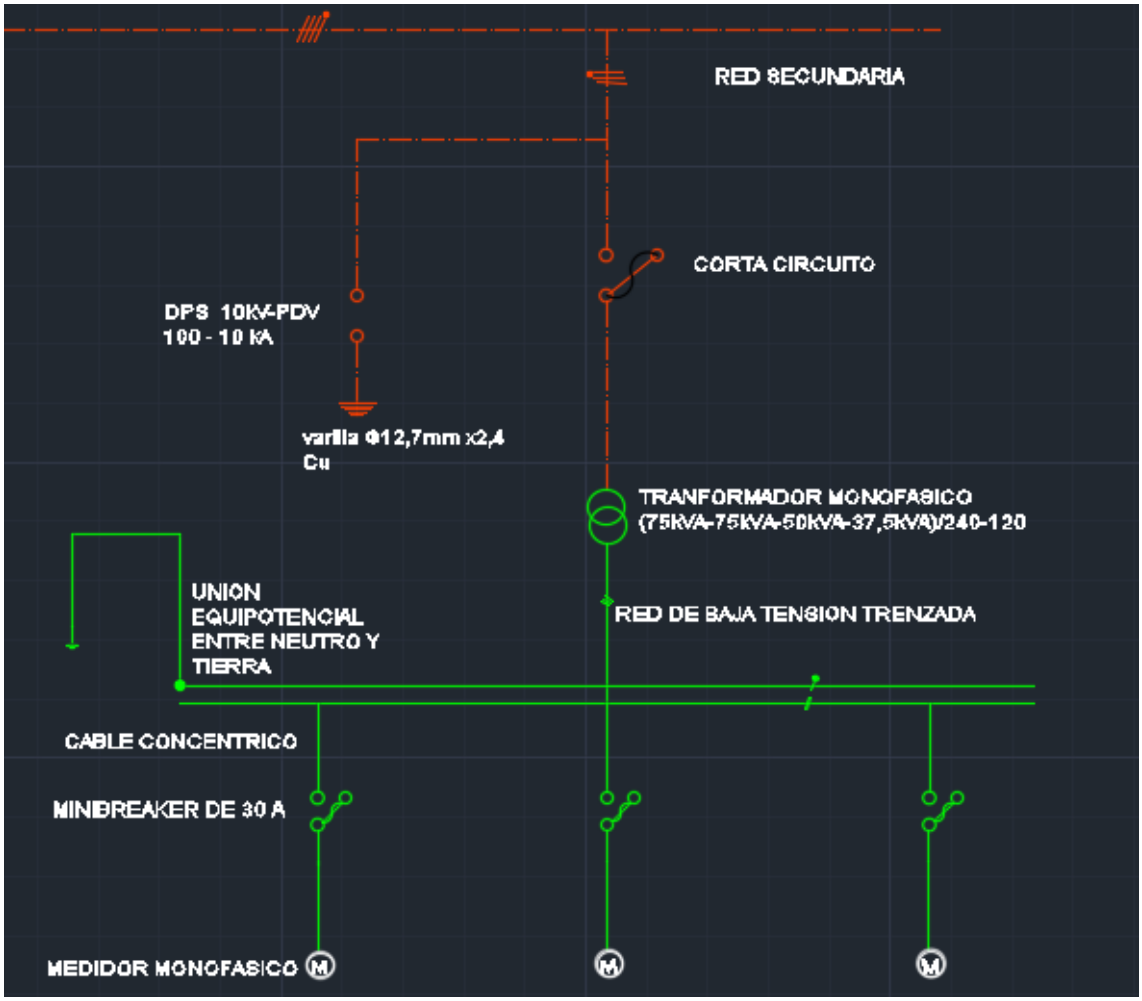


Figura 16. Diagrama unifilar del proyecto

La selección del DPS y del corta circuito se describe a continuación.

7.1 Selección del DPS

- Tensión línea a línea de la red secundaria: 13 200 V
- Tensión línea-tierra: 7, 62 kV
- Máxima tensión de servicio continuo: 8,4 kV
- PDV 100 10 kA o PDV 65 5Ka

7.2 Selección del corta circuito

$$I_{primario} = \frac{S_{1\Phi} * 1{,}2}{\sqrt{3} * V_{L-L}} \quad (41)$$

Dónde:

$I_{primario}$: Corriente en el lado primario del transformador.

$S_{1\Phi}$: Capacidad del transformador, se multiplica por 1,2 porque se debe sobrecargar el transformador hasta el valor máximo que lo permite la empresa de energía de Pereira.

V_{L-L}: Tensión línea a línea de la red secundaria.

La capacidad nominal de los transformadores que se utilizaron en el proyecto son:

- Dos transformadores de 75 kVA
- Un transformador de 50 kVA
- Un transformador de 37,5 kVA

La corriente para cada transformador es:

$$I_{primario} = \frac{75\ kVA * 1{,}2}{\sqrt{3} * 13200\ V} = 3{,}93\ A$$

$$I_{primario} = \frac{50\ kVA * 1{,}2}{\sqrt{3} * 13200\ V} = 2{,}63\ A$$

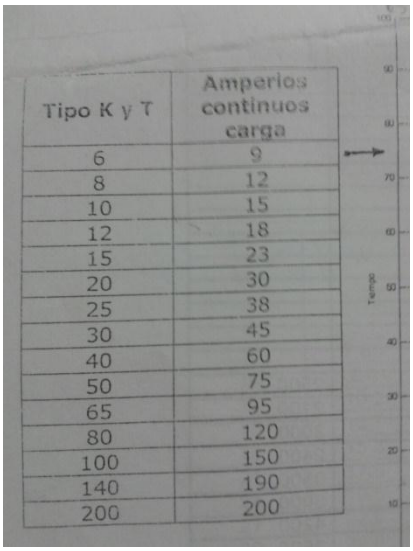
$$I_{primario} = \frac{37{,}5\ kVA * 1{,}2}{\sqrt{3} * 13200\ V} = 1{,}97\ A$$

La tabla 5 muestra los fusibles que la empresa de energía de Pereira recomienda para los kVA nominales de los transformadores.

FUSIBLES TIPO K	
kVA (1Φ)	A
3	1
5	1
10	2
15	2
25	3
37.5	4
50	6
75	9
100	12

Tabla 5. Fusibles para transformador monofásico a 13,2 kV [2].

La empresa de energía de Pereira recomienda fusibles tipo K, y de acuerdo al valor calculado de corriente para cada transformador y la corriente que muestra la tabla 5 se debe escoger un fusible 6K que soporta 9 ampers continuos de carga como se muestra en la figura 17.



Tipo K y T	Amperios continuos carga
6	9
8	12
10	15
12	18
15	23
20	30
25	38
30	45
40	60
50	75
65	95
80	120
100	150
140	190
200	200

Figura 17. Tabla de fusibles tipo K y T

Ahora la protección de los medidores será de 30 A este valor se deduce de la siguiente manera: La empresa de energía de Pereira enuncia lo siguiente "**Monofásico trifilar a 240 V/120 V** mediante acometida de tres conductores, así: dos conectados a fases, y el neutro de un sistema monofásico; para una carga instalada entre 7 kVA y 14 kVA"

Para este caso se toma la carga minima 7 kVA, aun asi sigue siendo un valor muy alto de consumo para una vivienda y se toma la tensión línea- línea (240 V).

$$I = \frac{7\ kVA}{240\ V} = 29{,}16$$

Es por esta razón que la protección del medidor es de 30 A.

Después de haber elegido las protecciones, con ayuda del software LSPSmanager se realiza la coordinación de protecciones.

8 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Consiste en seleccionar las protecciones adecuadas, determinar las características, valores nominales y ajustes de los dispositivos de protecciones que aseguren que la mínima carga no fallada se interrumpa cuando los dispositivos de protección aíslen una falla o sobrecarga en cualquier parte del sistema eléctrico. Estas acciones de aislamiento se deben realizar en el menor tiempo posible. Cada dispositivo de protección debe tener las curvas de respuesta en el tiempo en caso de falla. Con estas curvas se garantiza que un dispositivo de protección actué o no, dependiendo del lugar del sistema donde se origine la falla [1].

Las características que se deben cumplir durante diseño y coordinación de protecciones son: Confiabilidad, rapidez, economía, simplicidad y selectividad.

La norma IEC 60947-2 establece como se debe realizar el cálculo y la coordinación de protecciones.

8.1 Selectividad

En la figura 17 se muestra un ejemplo de un esquema eléctrico de protecciones en baja tensión y se explica en que consiste la selectividad.

La selectividad se consigue por medio de dispositivos de protección automáticos si ocurre una condición de defecto en cualquier punto de la instalación y es **A** eliminada por el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba del defecto, de forma que no se vean afectados todos los demás dispositivos de protección [1].

La selectividad entre los interruptores automáticos A y B es total si el valor máximo de la corriente de cortocircuito en el circuito B no supera el ajuste de disparo por cortocircuito del interruptor automático A. En esta condición sólo disparará el interruptor automático B [1].

La selectividad es parcial si la máxima corriente de cortocircuito posible en el circuito B es superior al ajuste de la corriente de disparo por cortocircuito del interruptor automático A. En esta condición dispararán los interruptores automáticos A y B [1].

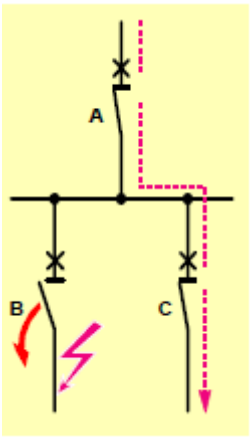


Figura 18. Selectividad [1]

A continuación, se presenta la coordinación de protecciones para el diseño de la red de baja tensión para cada transformador:

Transformador 75 kVA

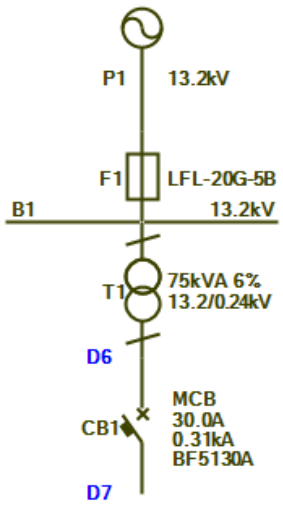


Figura 19. Diagrama unifilar transformador 75 kVA

Características de cada dispositivo del diagrama unifilar:

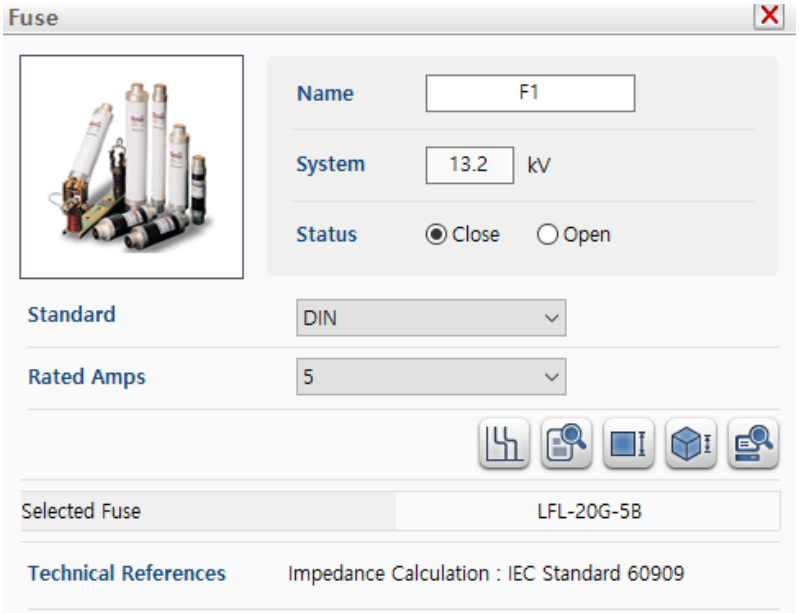


Figura 20. Corta circuito de media tensión

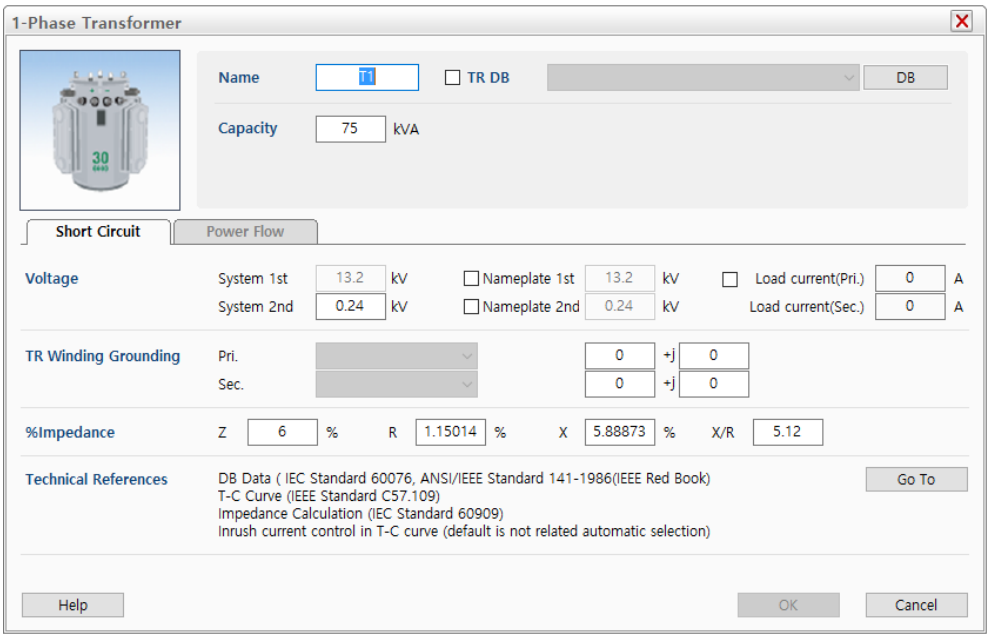


Figura 21. Transformador 75 kVA monofásico

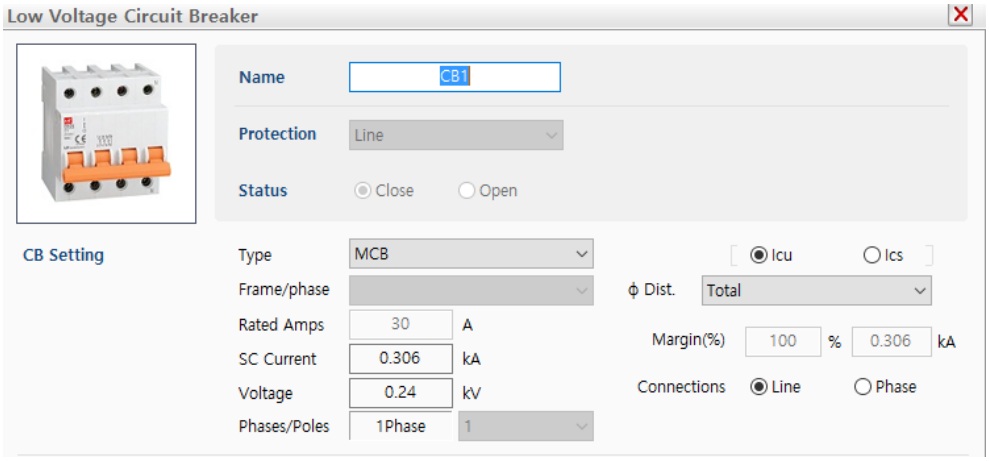


Figura 22. Mini breaker

Curvas de corriente vs tiempo

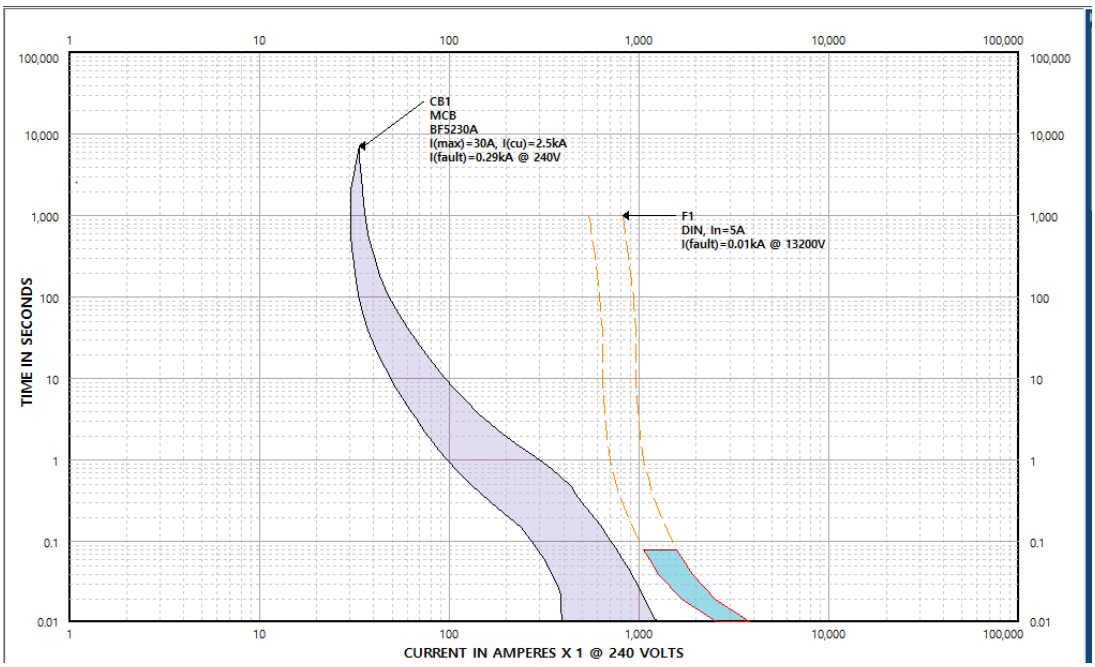


Figura 23. Curva de corriente vs tiempo, transformador 75 kVA

Transformador 50 kVA

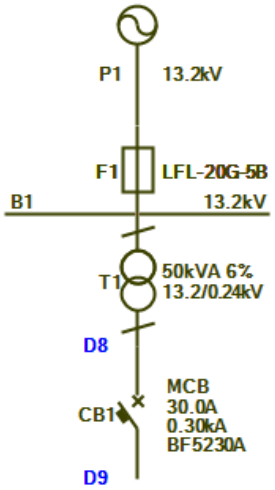


Figura 24.Diagrama unifilar transformador 50 kVA

Nota: Los fusibles o corta circuitos de cada transformador (75 kVA, 50 kVA, 37,5 KVA) son todos de iguales características, es decir, la figura 19 representa las características de dicho elemento.

Características de los componentes del diagrama unifilar.

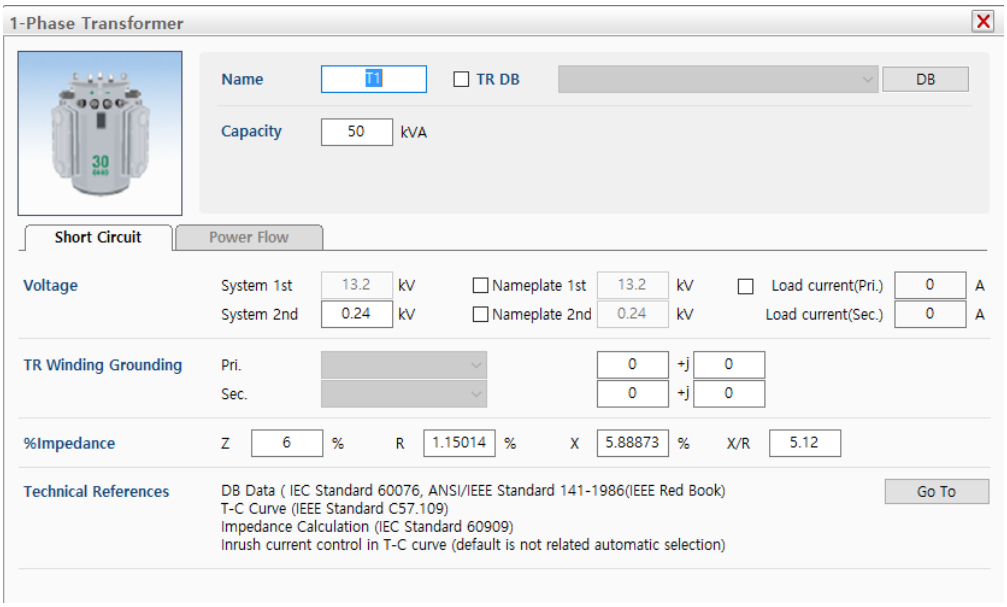


Figura 25. Transformador 50 kVA monofásico

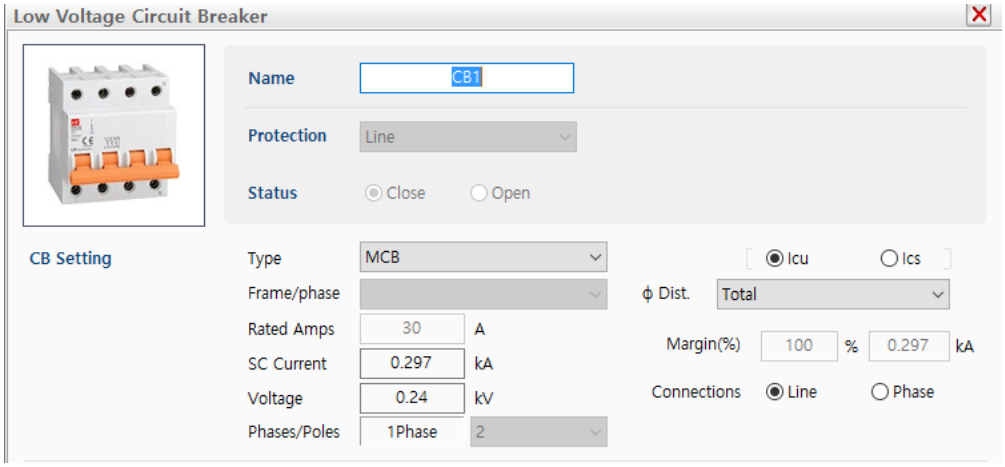


Figura 26. Mini Breaker

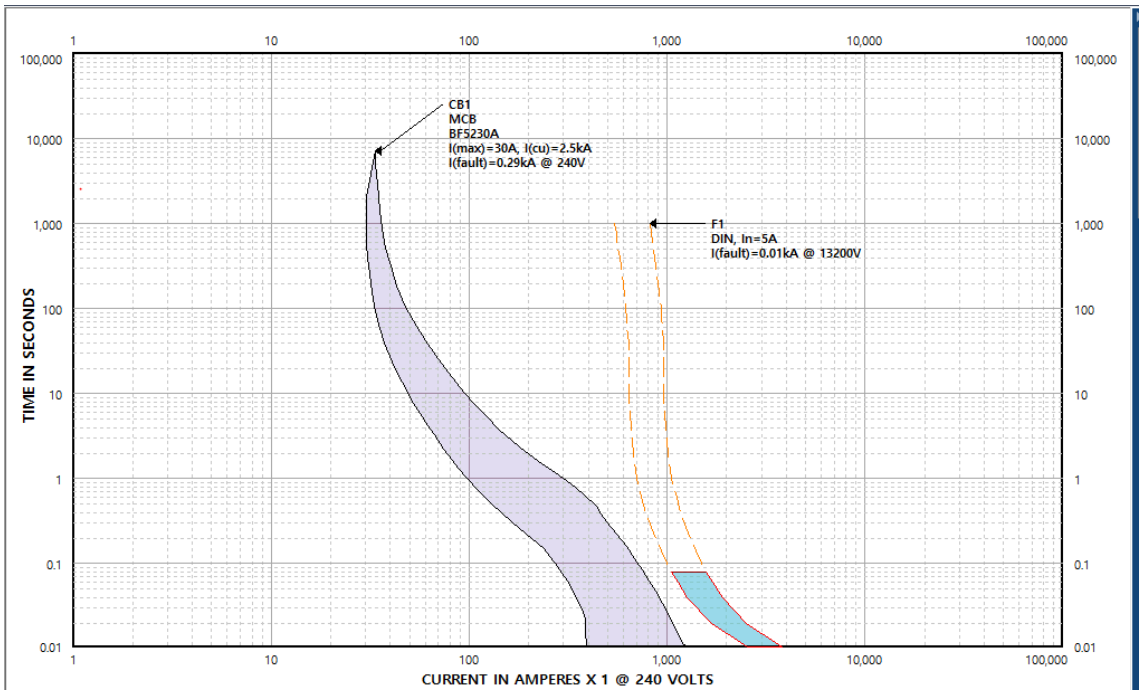


Figura 27. Curva de corriente vs tiempo, transformador 50 kVA

Transformador 37,5 kVA

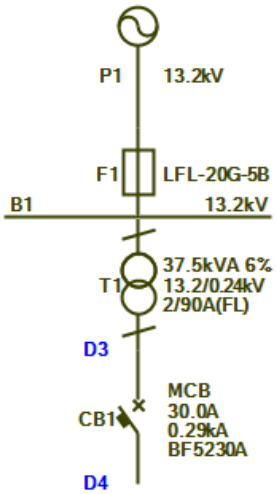


Figura 28. Diagrama unifilar transformador 37,5 kVA

Características de los componentes del diagrama unifilar:

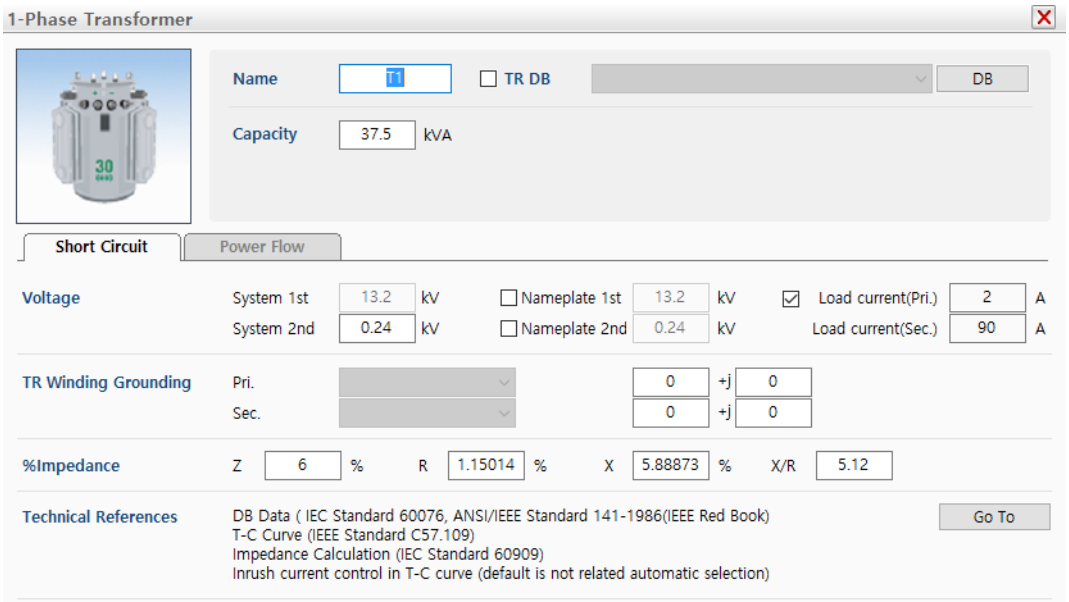


Figura 29. Transformador 37,5 kVA monofásico

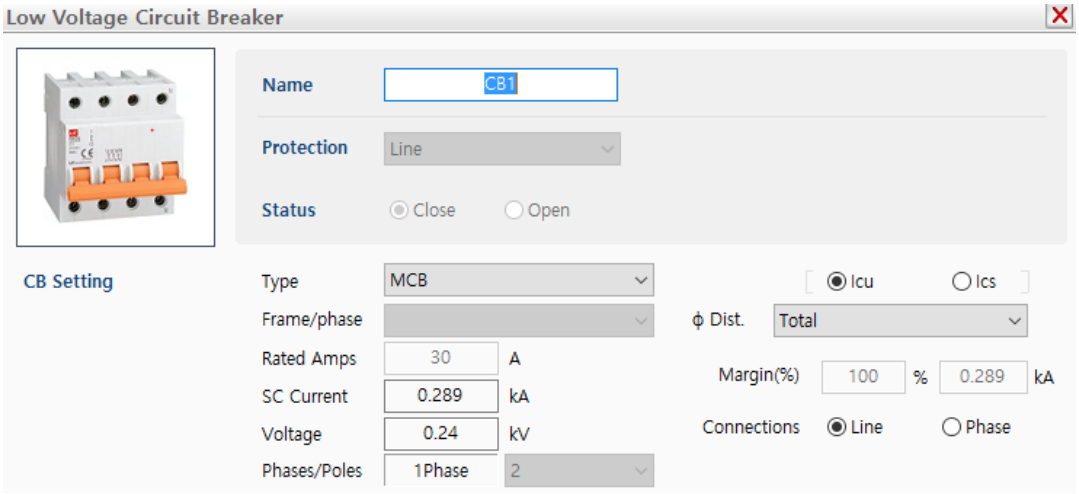


Figura 30. Mini Breaker

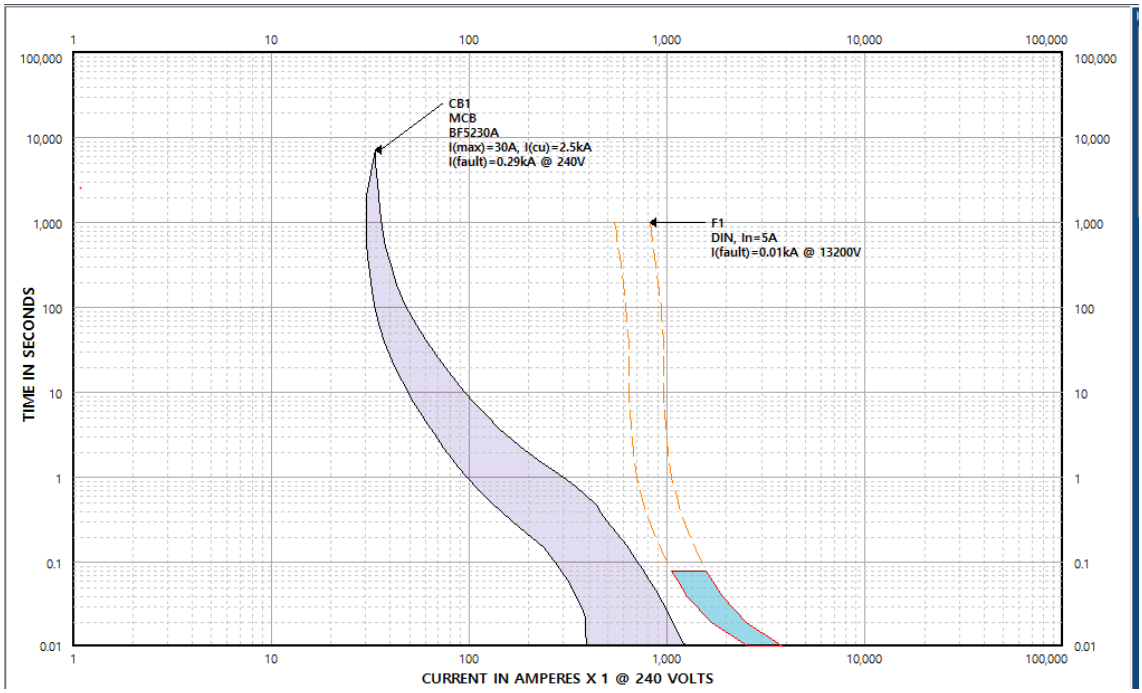


Figura 31. Curva de corriente vs tiempo, transformador 37,5 kVA

Al analizar las figuras 30, 26, 22 se puede notar que en caso de corto circuito la protección que actúa en primer lugar es de baja tensión (mini breaker), además se debe resaltar que el valor de ampers continuos de carga, cambia de un valor de 9 ampers a 5 ampers, lo que implica que se debe cambiar el fusible tipo 6K por la referencia que el software sugiere (LFL-20G-5B).

9 CONCLUSIONES

Cualquier diseño de red ya sea de baja tensión, de media tensión o de alta tensión debe estar sujeta a los reglamentos nacionales y normas municipales para cualquier diseño eléctrico.

Es necesario realizar los cálculos de manera adecuada para que el diseño sea seguro, confiable y económico.

Para diseñar una red eléctrica de distribución de baja tensión se requiere que la red eléctrica sea re diseñada varias veces hasta encontrar el diseño adecuado y más económico posible.

El cálculo y la coordinación de protecciones son importantes para preservar la vida de las personas, fiabilidad del sistema eléctrico y disminuir costos por reparaciones.

En este documento solo se trataron algunos de los requerimientos necesarios para presentar un proyecto de diseño de red eléctrica de distribución ante el operador de red, en este caso la empresa de energía de Pereira.

10 BIBLIOGRAFÍA

[1] CEDIEL GOMEZ, Pedro A. Coordinación de protecciones BT, Schneider electric.

[2] EMPRESA DE ENERGÍA DE PEREIRA (E.E.P.P), introducción, redes aéreas de baja tensión, Pereira, 2015.

[3] REDES DE DISTRIBUCION DE ENERGIA, capitulo 1, capítulo 2.

[4] REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS, capitulo 1 artículo 13, Colombia, Agosto 2013.