

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DE REDES DE BT Y MT,
CONVENCIONALES Y EN CONFIGURACIÓN ANILLO, PARA LA
URBANIZACIÓN QUINTA ESENCIA, EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN,
ANTIOQUIA



YASERT DAVID PÉREZ ARAQUE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA,
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA, COLOMBIA

2016

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DE REDES DE BT Y MT,
CONVENCIONALES Y EN CONFIGURACIÓN ANILLO, PARA LA
URBANIZACIÓN QUINTA ESENCIA, EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN,
ANTIOQUIA

YASERT DAVID PÉREZ ARAQUE

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al
título de: **Ingeniero Eléctrico**

Director

MSc. Luis David Pabón Fernández

Codirector

MSc. Oscar Javier Suárez Sierra

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA,
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA, COLOMBIA

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Pamplona, Diciembre de 2016.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	10
1 MARCO TEÓRICO.....	11
1.1 Caracterización de un sistema de distribución	11
1.2 El proyecto integral de distribución.....	13
1.2.1 Flujograma de cálculo	13
1.2.2 Requisitos que debe cumplir un sistema de distribución.	16
1.2.3 Diseño del sistema.	16
1.2.4 Selección de equipos.	17
1.3 Clasificación de los sistemas de distribución de acuerdo a su construcción	
.....	17
1.3.1 Redes de distribución aéreas.	17
1.3.2 Redes de distribución subterráneas.	18
1.4 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo a voltajes	
nominales.	20
1.4.1 Redes de distribución primarias.	20
1.4.2 Redes de distribución secundarios.	20
1.4.2.1 Monofásico trifilar 240/120 V con punto central a tierra. 20	
1.4.2.2 Trifásico tetrafilar 208/120 V con neutro a tierra y 220/127	
V con neutro a tierra. Hoy existe en el sector un sector intermedio	
214/123 V.	20
1.4.2.3 Trifásico en triángulo con transformadores monofásicos,	
de los cuales uno solo tiene conexión a tierra 240/120 voltios.	20
1.4.2.4 Trifásico 480/277 V en estrella.	20
1.4.2.5 Trifásico 480/240 V en delta.	20
1.5 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo a su ubicación	
geográfica	21
1.5.1 Redes de distribución urbanas.	22
1.5.2 Redes de distribución rurales.	22
1.5.3 Redes de distribución suburbanas.	23
1.5.4 Redes de distribución turística.	24
1.6 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo al tipo de cargas ..	24
1.6.1 Redes de distribución para cargas residenciales.	24
1.6.2 Redes de distribución para cargas comerciales	24
1.6.3 Redes de distribución para cargas industriales.	25
1.6.4 Redes de distribución para cargas de alumbrado público.	25

	1.6.5	Redes de distribución para cargas mixtas	25
1.7		Clasificación de las cargas de acuerdo a la confiabilidad	25
	1.7.1	Cargas de primera categoría.	25
	1.7.2	Cargas de segunda categoría.	26
	1.7.3	Cargas de tercera categoría	26
1.8		Aspectos generales sobre planeamiento de sistemas de distribución.....	26
	1.8.1	Objetivos de planeamiento.	26
	1.8.2	Proceso para el planeamiento.	26
	1.8.3	Factores que afectan el planeamiento del sistema de distribución.	27
	1.8.4	Técnicas actuales de planeamiento de sistemas de distribución. .	29
CAPITULO II			
2 PRÁCTICAS DE DISEÑO ACTUALES.....			
	2.1	Sistema radial.	31
	2.2	Bancos secundarios.	32
	2.3	Sistema selectivo secundario.	35
3 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEFINITIVO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIAS.			
	3.1	Consideraciones previas al cálculo de redes de redes de distribución secundarias.	36
	3.2	Cálculo de redes radiales	37
	3.2.1	Líneas de derivación simple.	38
	3.2.2	Líneas de alimentación.	38
	3.2.3	Líneas de derivación múltiple de sección constante (Carga punto a punto con origen de momentos fijo)	39
	3.2.4	Líneas de derivación múltiple con sección constante (carga concentrada punto a punto con origen de momentos variable).	40
	3.2.5	Línea con ramificaciones.	41
	3.2.6	Cálculo de redes en anillo sencillo.	42
CAPITULO III			
4 MEMORIAS DE CÁLCULO			
	4.1	Descripción del proyecto	45
	4.2	Cálculo Acometidas por casas.	45
	4.2.1	Descripción de las cargas.	45
	4.2.2	Cálculo del transformador.	46
	4.2.3	Cálculo de protecciones y acometida.	47
	4.2.4	Cuadros de carga.	47
	4.2.5	Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.	52
	4.2.6	Cálculo económico de los conductores.	53
		4.2.6.1 Cálculo de pérdidas de energía. c	
		4.2.6.1.1 Cálculo regulación acometidas para tableros eléctricos	54
	4.3	Diseño de redes exteriores.	58
		4.3.1 Método tramo a tramo.....	59
	4.4	Informe de coordinación de protecciones para el sistema.	62

4.5	Evaluación de riesgos.	66
4.5.1	Cálculo del factor de riesgo.....	66
4.5.2	Evaluación de la estructura sin ningún tipo de protección contra rayos.	68
4.5.3	Resultados de la evaluación de riesgo	69
5	PROPUESTA DE DISEÑO EN CONFIGURACION EN ANILLO.....	70
5.1	Planteamiento del anillo de distribución	73
5.2	Cálculo de regulación para selección de conductores en anillo.....	75
6	ESTUDIO FINANCIERO DE LOS DISEÑOS PROPUESTOS	77
6.1	Cotización red radial	77
6.2	Cotización red anillo.....	77
7	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA CONFIGURACIÓN PROPUESTA	80
8	CONCLUSIONES.....	82
9	BIBLIOGRAFÍA.....	83

DEDICATORIA

Primero a Dios, a mi madre Nidia, mi padre Luis por apoyarme siempre de manera incondicional a lo largo de este proceso, a mi hermana Carolina por ser un modelo de perseverancia y superación, a mi hermano Camilo que me motiva a ser cada día mejor y ser el mejor ejemplo, mis sobrinos que son parte fundamental de lo que me impulsa cada día a ser mejor, a toda mi familia por brindarme apoyo en el momento en que lo necesite y a aquellas personas que a pesar de la distancia siempre se preocuparon por mi bienestar.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

- La empresa in-g ingeniería e innovación S.A.S. por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en su organización y brindarme el apoyo y acompañamiento para el desarrollo del mismo.
- Al cuerpo de docentes del programa de Ingeniería Eléctrica de la universidad de pamplona, por todos los conocimientos que me inculcaron en mi formación académica, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este mismo proyecto y los cuales me permitirán el desarrollo como profesional.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1 Configuraciones para sistemas de distribución secundaria.....</i>	20
<i>Tabla 2 Cálculo de la capacidad instalada del proyecto Quinta Esencia.....</i>	45
<i>Tabla 3 Cuadro de cargas Casa 396m².....</i>	47
<i>Tabla 4 Cuadro de cargas Casa 400m².....</i>	48
<i>Tabla 5 Cuadro de cargas Casa 470m².....</i>	49
<i>Tabla 6 Cuadro de cargas Casa 545m².....</i>	50
<i>Tabla 7 Análisis de Riesgo de Origen Eléctrico.....</i>	51
<i>Tabla 8 Decisiones y acciones para controlar el riesgo.....</i>	51
<i>Tabla 9 Cálculo de los calibres de los conductores.....</i>	52
<i>Tabla 10 Cálculo de pérdidas de energía.....</i>	53
<i>Tabla 11 Cálculo regulación casas quinta esencia.....</i>	57
<i>Tabla 12 Cálculo conductor transformador 1.....</i>	59
<i>Tabla 13 Cálculo conductor transformador 1.....</i>	59
<i>Tabla 14 Protección de sobretensión calculados por ECODIAL.....</i>	61
<i>Tabla 15 Informe protección aguas abajo del transformador calculada por ECODIAL.....</i>	62
<i>Tabla 16 Características protección tipo totalizador en cada carga.....</i>	64
<i>Tabla 17 Descripción de riesgos a evaluar.....</i>	66
<i>Tabla 18 Características de la estructura.....</i>	66
<i>Tabla 19 Características de la estructura.....</i>	67
<i>Tabla 20 Definición de parámetros inherentes a la estructura.....</i>	67
<i>Tabla 21 Definición y determinación del número de eventos peligrosos.....</i>	67
<i>Tabla 22 Definición y determinación de la probabilidad de daño en cada evento peligroso.....</i>	68
<i>Tabla 23 Definición y determinación de la cantidad de pérdidas por daños.....</i>	68
<i>Tabla 24 Resultado riesgo de pérdida de vida humana.....</i>	68
<i>Tabla 25 Resultado riesgo de pérdida de servicio publico.....</i>	69
<i>Tabla 26 Corriente A_B.....</i>	73
<i>Tabla 27 Corriente A_B.....</i>	73
<i>Tabla 28 Cálculo de regulación tramo equivalente 1 A-F.....</i>	75
<i>Tabla 29 Cálculo de regulación tramo equivalente 2 A-F.....</i>	75
<i>Tabla 30 Cotizacion para configuración radial.....</i>	76
<i>Tabla 31 Cotizacion para configuración radial (continuación).....</i>	77
<i>Tabla 32 Cotizacion para configuración anillo.....</i>	77
<i>Tabla 33 Descripción de materiales cotizados para cada configuración.....</i>	78
<i>Tabla 34 Porcentajes aplicados a cada material.....</i>	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1</i> Etapas de un sistema de potencia y distribución.	11
<i>Figura 2</i> Flujograma para elaboración de un proyecto de redes de distribución	14
<i>Figura 3</i> Diagrama de bloques planteamiento de un sistema de distribución.	29
<i>Figura 4</i> Red de distribución tipo radial.	30
<i>Figura 5</i> Banco secundario con un fusible intermedio.	32
<i>Figura 6</i> Banco secundario con fusibles entre cargas.	33
<i>Figura 7</i> Banco secundario protegido a la salida de los transformadores de distribución.	33
<i>Figura 8</i> Banco secundario protegido con breakers.	34
<i>Figura 9</i> Sistema selectivo secundario.	34
<i>Figura 10</i> Línea de derivación simple.	37
<i>Figura 11</i> Líneas de alimentación.	38
<i>Figura 12</i> Líneas de derivación múltiple.	39
<i>Figura 13</i> Carga concentrada punto a punto con origen de momentos variable.	40
<i>Figura 14</i> Línea con ramificaciones.	41
<i>Figura 15</i> Línea en anillo sencillo.	42
<i>Figura 16</i> Circuito radial equivalente.	42
<i>Figura 17</i> Circuitos radiales equivalentes.	42
<i>Figura 18</i> Ubicación del proyecto quinta esencia.	44
<i>Figura 19</i> Cálculo regulación casa de 396m ² con software VDROP	54
<i>Figura 20</i> Cálculo regulación casa de 400m ² con software VDROP	55
<i>Figura 21</i> Cálculo regulación casa de 470m ² con software VDROP	56
<i>Figura 22</i> Cálculo regulación casa de 470m ² con software VDROP	57
<i>Figura 23</i> seccionamiento usado para el cálculo de conductores	58
<i>Figura 24</i> Diagrama Unifilar	60
<i>Figura 25</i> Coordinacion de protecciones aguas arriba y aguas abajo del transformador	63
<i>Figura 26</i> Coordinacion de protecciones en la barra de distribución.	65
<i>Figura 27</i> Evaluación de riesgos empleando IEC risk	70
<i>Figura 28</i> Líneas alimentadas bilateralmente	71
<i>Figura 29</i> Líneas alimentadas bilateralmente	72
<i>Figura 30</i> Anillo planteado para la re3d de distribución	72
<i>Figura 31</i> equivalente alimentado bilateralmente	73
<i>Figura 32</i> Equivalente 1 de la línea alimentada bilateralmente	74
<i>Figura 33</i> Equivalente 2 de la línea alimentada bilateralmente	74
<i>Figura 34</i> Detalle cruce de vía sobre pavimento	80

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el gran problema que se presenta al diseñar redes de distribución de energía eléctrica principalmente radica en la regulación de los niveles de tensión que estas presentan, lo cual hace necesario usar conductores con calibres bastantes grandes dificultando la construcción de las mismas, elevando los costos de estas, pero a la vez garantizando al usuario final un nivel de tensión aceptable en el correcto funcionamiento de sus equipos de consumo.

En el presente proyecto se plantea identificar las principales diferencias en el diseño de una red de BT y MT usando la configuración en anillo, frente a un diseño convencional de forma radial. Se pretende encontrar un sistema optimo y confiable para el cálculo de regulación de tensión al usar la configuración en anillo, y finalmente al concluir el estudio, dar a conocer que configuración es mejor para el diseño de redes teniendo en cuenta aspectos económicos y prácticos al momento de realizar la construcción de la red.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La base de este proyecto es plantear una comparación entre el diseño de redes de BT y MT en configuración anillo y el diseño típico radial, tratando así de identificar los posibles beneficios que traería realizar el diseño de redes usando este tipo de configuración.

Se analizarán aspectos constructivos de la red teniendo en cuenta tiempos de ejecución de la misma, factibilidad de estas, presupuesto para la construcción, rigiéndose por las normativas actuales que permitan una implementación de un diseño que permitan una implementación factible y legal.

JUSTIFICACIÓN

Al ser la urbanización Quinta esencia una carga eléctrica considerable, se plantea realizar un diseño de redes de BT y MT que sea más óptimo y confiable, siendo así se escoge la configuración en anillo como una posible alternativa al diseño convencional de tipo radial, ya que ésta por el tipo de configuración otorga mayor fiabilidad ante una posible falla del sistema.

De esta manera, se explora una posible alternativa al diseño de redes de distribución a las que se construyen habitualmente, supliendo los problemas que se presentan ante un fallo en los alimentadores de las mismas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio comparativo entre el diseño de redes de BT y MT, convencionales y en configuración anillo, para la urbanización quinta esencia ubicada en la ciudad de Medellín Antioquia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una metodología para cálculo de regulación de tensión en redes de BT y MT en configuración anillo.
- Diseñar las redes de BT y MT para la urbanización quinta esencia según especificaciones de normatividad actual vigente y según la metodología para configuración anillo.
- Realizar el estudio financiero para cada uno de los diseños planteados para la urbanización quinta esencia.
- Establecer ventajas y desventajas entre los diseños propuestos desde el punto de vista técnico y financiero.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Caracterización de un sistema de distribución

Un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, como se muestra en la figura. Su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos. Aproximadamente las 2/3 partes de la inversión total del sistema de potencia, están dedicados a la parte de distribución, lo que implica necesariamente un trabajo cuidadoso en el planeamiento, diseño y construcción y en la operación del sistema de distribución, lo que requiere manejar una información voluminosa y tomar numerosas decisiones, lo cual es una tarea compleja, pero de gran trascendencia.

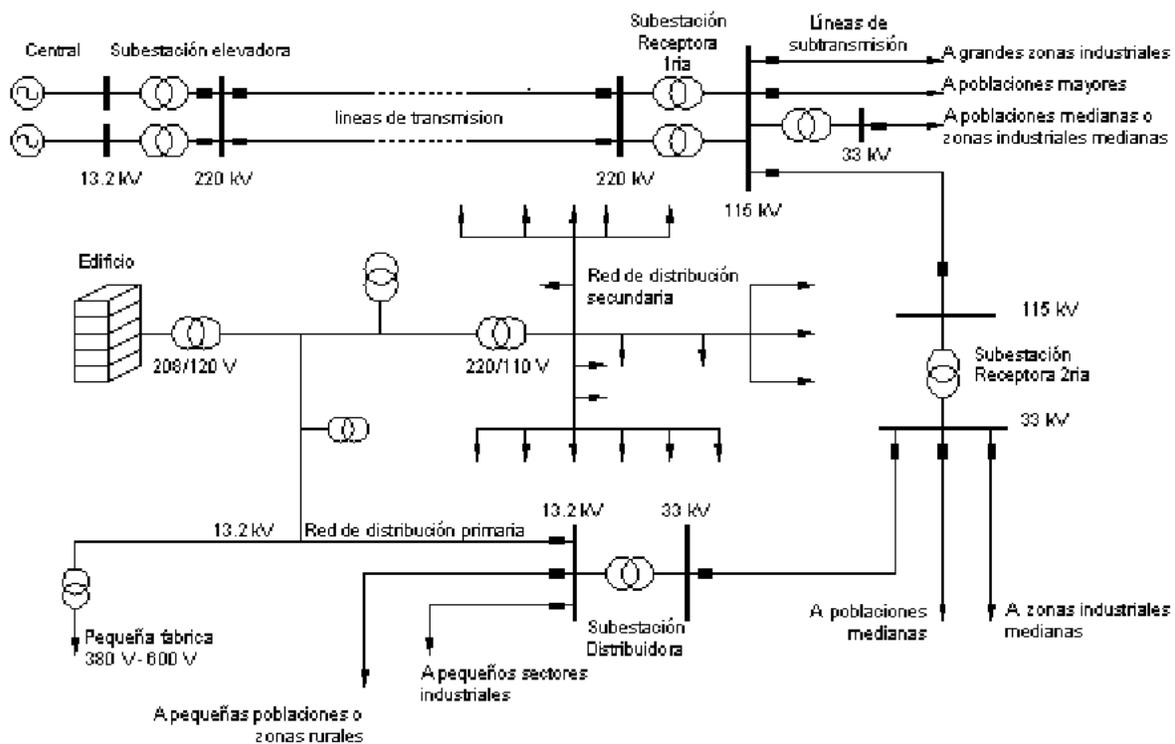


Figura 1 Etapas de un sistema de potencia y distribución.

Nótese que es en esta parte donde se producen los porcentajes más grandes de pérdidas de energía en todas sus manifestaciones debido al gran volumen de elementos que lo conforman, y a los bajos niveles de tensión que se manejan.

El sistema de distribución a su vez está conformado por:

- a) *Subestaciones receptoras secundarias*: Se transforma la energía recibida de las líneas de subtransmisión y dan origen a los circuitos de distribución primarios.
- b) *Circuitos primarios*: Recorren cada uno de los sectores urbanos y rurales suministrando potencia a los transformadores de distribución a voltajes como 13.2 kV, 11.4 kV, 7620 V, etc.
- c) *Transformadores de distribución*: Conectan a un circuito primario y suministran servicio a los consumidores o abonados conectados al circuito secundario.
- d) *Circuito secundario*: encargados de distribuir la energía a los usuarios con voltajes como 120/208 - 120/240 V y en general voltajes hasta 600 V. (Castaño, 2004)

La distribución de energía eléctrica, es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución, reflejada en el tipo de equipos y herramientas utilizadas, los tipos de estructuras, los materiales con los que se construyen las redes de distribución y en los métodos de trabajo de las cuadrillas de construcción y mantenimiento, reflejada también en la metodología de diseño y operación empleando computadores (programas de gerencia de redes, software gráfico, etc.). Algunos de estos factores de evolución son:

- Expansión de la carga.
- Normalización de materiales, estructuras y montajes.
- Herramientas y equipos adecuados.
- Métodos de trabajo específico y normalizado.
- Programas de prevención de accidentes y programas de mantenimiento.
- Surgimiento de industrias de fabricación de equipos eléctricos.
- Grandes volúmenes de datos y planos.

1.2 El proyecto integral de distribución

Es usual que la documentación técnica relacionada con un proyecto de distribución incluya las siguientes partes:

- Las memorias descriptivas.
- Las notas de cálculo (criterios de diseño, secuencia de cálculo, fórmulas básicas de cálculo).
- Las especificaciones técnicas sobre equipos y elementos.
- Los planos.

Todo lo cual constituye el expediente técnico del proyecto, teniendo en cuenta las normas del Código Eléctrico Nacional y las normas de cada una de las empresas electrificadoras. El proyectista deberá tener presente que sus diseños deben ser normalizados por las grandes ventajas que esto ofrece durante las etapas de planeamiento, diseño, construcción operación y mantenimiento del sistema de distribución. Así mismo, facilita el proceso de fabricación de materiales y equipos. (Castaño, 2004)

1.2.1 *Flujograma de cálculo*

Como modelo de la secuencia para el cálculo se presenta en la figura 2. un flujograma para todo el proyecto. Se hace hincapié, en que ciertos bloques del flujograma pueden diferir de lo mostrado dependiendo del orden usado en los cálculos preliminares. (Balabanian, 1993)

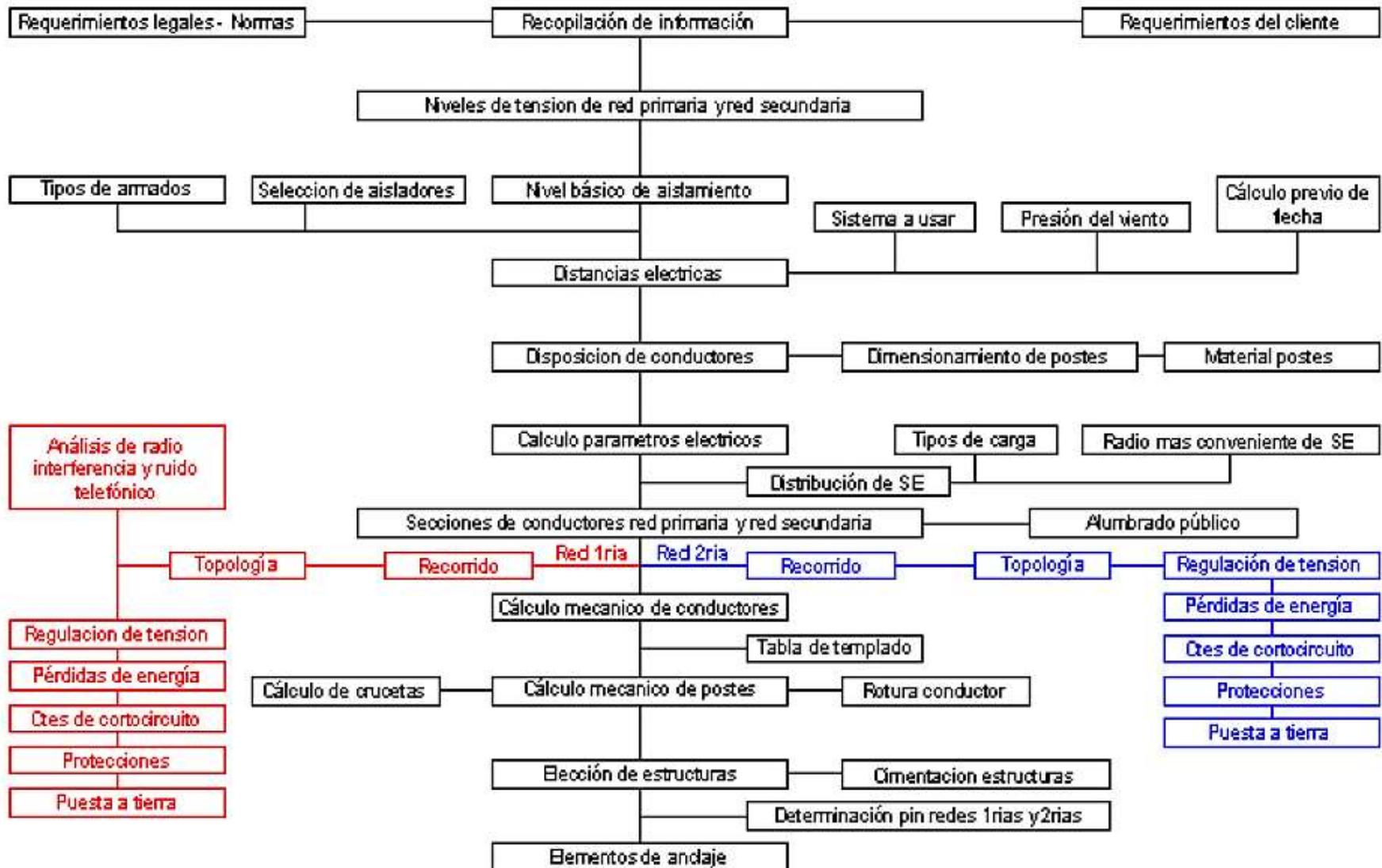


Figura 2 Flujoograma para elaboración de un proyecto de redes de distribución

1.2.2 *Requisitos que debe cumplir un sistema de distribución.*

- a)** Aplicación de normas nacionales y/o internacionales.
- b)** Seguridad para el personal y equipos.
- c)** Simplicidad en la construcción y operación (rapidez en las maniobras).
- d)** Facilidades de alimentación desde el sistema de potencia.
- e)** Optimización de costos (economía).
- f)** Mantenimiento y políticas de adquisición de repuestos.
- g)** Posibilidad de ampliación y flexibilidad.
- h)** Resistencia mecánica.
- i)** Entrenamiento del personal.
- j)** Confiabilidad de los componentes.
- k)** Continuidad del servicio
- l)** Información relacionada con la zona del proyecto (ubicación, altitud, vías de acceso).
- m)** Información relacionada con las condiciones climáticas (temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, contaminación ambiental).
- n)** Información particular referente a: requerimientos técnicos de los clientes, ubicación de cargas especiales e industriales, plano loteado (que contenga zona residencial, comercial, importancia de las calles, ubicación de otras instalaciones, nivel socioeconómico, relación con otros proyectos en la zona y características geotécnicas).
- o)** Regulación de tensión (niveles máximos admisibles).
- p)** Pérdidas de energía (niveles máximos admisibles). (Castaño, 2004)

1.2.3 *Diseño del sistema.*

El diseño de un sistema de distribución debe incluir:

- a)** La localización de la alimentación para el sistema
- b)** El conocimiento de las cargas
- c)** El conocimiento de las tasas de crecimiento de las cargas
- d)** Selección de la tensión de alimentación.
- e)** Selección de las estructuras de media tensión y baja tensión.
- f)** Localización óptima de subestaciones de distribución (transformadores de distribución).
- g)** Diseño del sistema de tierra.

- h) Análisis de corrientes de cortocircuito.
- i) Diseño de las protecciones de sobrecorriente.
- j) Diseño de protección contra sobretensiones.

1.2.4 Selección de equipos.

La selección de equipos para sistemas de distribución incluye:

- a) La selección de las subestaciones de distribución incluidos los interruptores, transformadores y gabinetes.
- b) Selección de los conductores (cables aislados y/o desnudos).
- c) Optimización del calibre de los conductores (calibre económico).
- d) Selección en caso necesario de equipos para supervisión de la carga y automatización del sistema para la operación bajo condiciones normales y anormales.

1.3 Clasificación de los sistemas de distribución de acuerdo a su construcción

1.3.1 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 de concreto. Al comparársele con el sistema subterráneo tiene las siguientes ventajas:

- Costo inicial más bajo.
- Son las más comunes y materiales de fácil consecución.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil localización de fallas.
- Tiempos de construcción más bajos.

Y tiene las siguientes desventajas:

- Mal aspecto estético.
- Menor confiabilidad.
- Menor seguridad (ofrece más peligro para los transeúntes).
- Son susceptibles de fallas y cortes de energía ya que están expuestas a: descargas atmosféricas, lluvia, granizo, polvo, temblores, gases contaminantes, brisa salina, vientos, contactos con cuerpos extraños, choques de vehículos y vandalismo. Las partes principales

de un sistema aéreo son esencialmente:

- 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, úes, espigos, etc).
- f) *Equipos de seccionamiento*: el seccionamiento se efectúa con cortacircuitos y seccionadores monoplares para operar sin carga (100 A - 200 A).
- g) *Transformadores y protecciones*: se emplean transformadores monofásicos con los siguientes valores de potencia o nominales: 25 - 37.5 - 50 - 75 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. (Castaño, 2004).

1.3.2 *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. Tiene las siguientes ventajas:

- Mucho más confiable ya que la mayoría de las contingencias mencionadas en las redes

aéreas no afectan a las redes subterráneas.

- Son más estéticas, pues no están a la vista.
- Son mucho más seguras.
- No están expuestas a vandalismo.

Tienen las siguientes desventajas:

- Su alto costo de inversión inicial.
- Se dificulta la localización de fallas.
- El mantenimiento es más complicado y reparaciones más demoradas.
- Están expuestas a la humedad y a la acción de los roedores.

Los conductores utilizados son aislados de acuerdo al voltaje de operación y conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras. Estos cables están directamente enterrados o instalados en bancos de ductos, con cajas de inspección en intervalos regulares.

Un sistema subterráneo cuenta con los siguientes componentes:

- a) Ductos:** 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.

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. 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.

- c) Cámaras:** 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.

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

1.4 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo a voltajes nominales.

1.4.1 *Redes de distribución primarias.*

En Colombia se diseñan los circuitos primarios a diferentes voltajes. Se establece como voltaje nominal para el diseño 13.2/7.62 kV, configuración estrella con neutro sólido a tierra.

1.4.2 *Redes de distribución secundarios.*

En Colombia existen varios voltajes de diseño para circuitos secundarios. Los siguientes son los voltajes de diseño de redes urbanas y rurales que permiten abastecer al servicio residencial, comercial, a la pequeña industria y al alumbrado público cuando estos 2 últimos son alimentados por la red secundaria.

1.4.2.1 Monofásico trifilar 240/120 V con punto central a tierra.

1.4.2.2 Trifásico tetrafilar 208/120 V con neutro a tierra y 220/127 V con neutro a tierra. Hoy existe en el sector un sector intermedio 214/123 V.

1.4.2.3 Trifásico en triángulo con transformadores monofásicos, de los cuales uno solo tiene conexión a tierra 240/120 voltios.

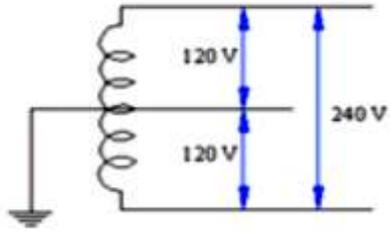
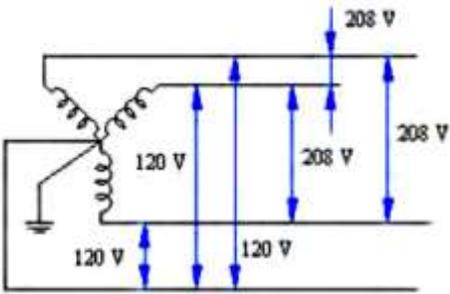
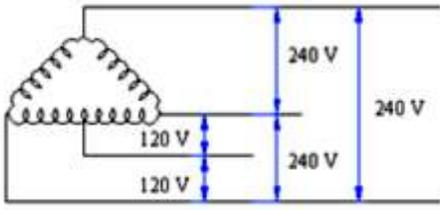
Los voltajes citados se refieren a la tensión de placa (sin carga) en los transformadores de distribución. Para los sistemas industriales y de alumbrado público grandes, que requieren un transformador propio independiente de la red secundaria, son muy comunes las siguientes tensiones nominales.

1.4.2.4 Trifásico 480/277 V en estrella.

1.4.2.5 Trifásico 480/240 V en delta.

En la tabla 1. pueden verse los diferentes sistemas de distribución secundaria y su utilización.

Tabla 1 Configuraciones para sistemas de distribución secundaria.

Voltaje secundario y tipo de sistema	Diagrama de conexiones y voltajes secundarios	Utilización y disposición recomendada
<p><i>120 / 240 V.</i> <i>Monofásico trifilar</i> <i>Neutro sólido a tierra</i></p>		<p>Zonas residenciales urbanas. Zonas rurales Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea en zonas residenciales clase alta.</p>
<p><i>120 / 208 V</i> <i>Trifásico tetrafilar en estrella</i> <i>Neutro sólido a tierra</i></p>		<p>Zonas comerciales e industriales. Zonas residenciales urbanas. Zonas rurales con cargas trifásicas. Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea en zonas céntricas.</p>
<p><i>120 / 240 V</i> <i>Trifásico tetrafilar en Δ con devanado partido</i></p>		<p>Zonas comerciales e industriales. Zonas residenciales urbanas Zonas rurales con cargas trifásicas. Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea según especificaciones.</p>

1.5 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo a su ubicación geográfica

Un sistema de distribución debe atender usuarios de energía eléctrica localizados en zonas urbanas, suburbanas, rurales y turísticas y la clasificación de acuerdo a la zona a servir es:

1.5.1 Redes de distribución urbanas.

Los programas de distribución urbana son desarrollados individualmente por cada empresa de energía y la mayoría de las veces son planes de remodelación y recuperación de pérdidas. Las principales características de las redes de distribución urbana son las siguientes:

- a)** Usuarios muy concentrados.
- b)** Cargas bifilares, trifilares y trifásicas.
- c)** Facilidad de acceso.
- d)** En general se usa postería de concreto.
- e)** Es necesario coordinar los 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.
- f)** Se usan conductores de aluminio, ACSR y cobre.
- g)** Facilidad de transporte desde los proveedores de materiales y equipos al sitio de la obra.
- h)** Transformadores generalmente trifásicos en áreas de alta densidad de carga y monofásicos trifilares en áreas de carga moderada.
- i)** El trabajo en general puede ser mecanizado.
- j)** La separación entre conductores y estructuras de baja tensión y media tensión son menores.
- k)** En caso de remodelaciones y arreglos es necesario coordinar con las empresas de energía los cortes del servicio.

1.5.2 *Redes de distribución rurales.*

Son evidentes las enormes ventajas de disponer de energía eléctrica en las zonas rurales del país. Nadie pone en cuestión la necesidad de dotar a dichos núcleos (corregimientos o extensiones territoriales distintas de las aglomeraciones urbanas o suburbanas que comprenden las zonas de explotaciones agrícolas, pecuarias o forestales y localidades que no sobrepasen los 3000 habitantes, excluyendo los sectores turísticos, residenciales o industriales) de un suministro eléctrico seguro y eficiente.

Pero también es cierto que de estas instalaciones eléctricas no se deriva una pura rentabilidad económica ya que los montos elevados de las inversiones necesarias no quedan remunerados por los relativamente escasos originados por la venta de la

electricidad, puesto que los consumos per cápita son muy inferiores a los correspondientes a las zonas urbanas e industriales. Por lo mismo, la mejor justificación de un plan de electrificación rural estriba en sus efectos sociales. La electrificación rural se orienta, ante todo, a satisfacer una necesidad primaria, cual es el alumbrado de viviendas y de los asentamientos rurales, pasando luego a atender otras exigencias menos perentorias y que producen una mayor "Calidad de vida", como los aparatos domésticos y la industrialización agropecuaria.

Es necesario, ante todo, realizar un inventario de todas las colectividades rurales, para después, en base a criterios técnicos razonables, desarrollar los proyectos oportunos para remediar las carencias, finalmente hay que cuantificar las inversiones necesarias para ello, y en base a criterios políticos y sociales, distribuir las a lo largo del tiempo de duración del plan. (Castaño, 2004)

Las principales características de las redes de distribución rural son:

- a) Usuarios muy dispersos.
- b) Cargas generalmente monofásicas.
- c) Dificultades de acceso en las zonas montañosas lo que implica extra costos en el transporte y manejo de materiales.
- d) En zonas accesibles se usa postería de concreto.
- e) En zonas de difícil acceso se usa postería de madera inmunizado.
- f) Los transformadores por lo general son monofásicos 2H o 3H (Bifilares o Trifilares).
- g) Conductores ACSR por lo general.
- h) A menudo es necesario efectuar desmonte de la zona.

1.5.3 *Redes de distribución suburbanas.*

Que tienen características intermedias donde puede existir gran concentración de usuarios que tienen bajo consumo como los suburbios o asentamientos espontáneos.

1.5.4 *Redes de distribución turística.*

Donde los ciclos de carga están relacionados con las temporadas de vacaciones, y donde se impone la construcción subterránea para armonizar con el entorno.

1.6 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo al tipo de cargas

La finalidad a la cual el usuario destina la energía eléctrica también sirve de criterio para clasificar las cargas

1.6.1 *Redes de distribución para cargas residenciales.*

Que 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:

- 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.

1.6.2 *Redes de distribución para cargas comerciales*

Caracterizadas por ser resistivas y se localizan en áreas céntricas de las ciudades donde se realizan actividades comerciales, centros comerciales y edificios de oficinas. Tienen algún componente inductivo que bajan un poco el factor de potencia. Hoy en día predominan cargas muy sensibles que introducen armónicos.

1.6.3 *Redes de distribución para cargas industriales.*

Que tienen un componente importante de energía reactiva debido a la gran cantidad de motores instalados. Con frecuencia se hace necesario corregir el factor de potencia.

Además de las redes independientes para fuerza motriz es indispensable distinguir otras para calefacción y alumbrado. A éstas cargas se les controla el consumo de reactivos y se les realiza gestión de carga pues tienen doble tarifa (alta y baja) para evitar que su pico máximo coincida con el de la carga residencial.

1.6.4 *Redes de distribución para cargas de alumbrado público.*

Para contribuir a la seguridad ciudadana en las horas nocturnas se instalan redes que alimentan lámparas de mercurio y sodio de característica resistiva.

1.6.5 *Redes de distribución para cargas mixtas*

En este tipo de redes se tienen varias de estas cargas en una misma red de distribución. No muy deseables pues se dificulta el control de pérdidas

1.7 Clasificación de las cargas de acuerdo a la confiabilidad

Teniendo en cuenta los daños que pueden sufrir los usuarios por la interrupción del suministro de energía eléctrica, es posible clasificar las cargas así:

1.7.1 *Cargas de primera categoría.*

Son aquellas en las que una interrupción corta en el suministro de energía eléctrica causa importantes perjuicios al consumidor (riesgo de muerte, daños en procesos de fabricación en masa, daños a equipos costosos como computadores y máquinas controladas por sistemas electrónicos, centros hospitalarios, sistemas masivos de transporte, etc.). Estas cargas deben tener sistemas alternos de alimentación con conmutación automático y plantas de emergencia (autogeneración).

1.7.2 *Cargas de segunda categoría.*

Bajo esta categoría se clasifican todas las cargas en las que una pequeña interrupción (no mayor de 5 minutos), no causa grandes problemas al consumidor. Pertenecen a este grupo las fábricas medianas que no tienen complicados y delicados procesos de fabricación pero

que causan desocupación de empleados y obreros, etc.

1.7.3 Cargas de tercera categoría

Se clasifican aquí el resto de consumidores, los cuales pueden tener un tiempo de interrupción en un intervalo, en un mes durante el cual no se causa mayores perjuicios. Son entonces los usuarios residenciales, poblaciones rurales, pequeñas fábricas, etc. La CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas) ha establecido como metas para el DES y FES de 3 y 9 respectivamente.

1.8 Aspectos generales sobre planeamiento de sistemas de distribución

1.8.1 Objetivos de planeamiento.

Un buen planeamiento garantiza que el crecimiento de la demanda de energía eléctrica sea satisfecho en forma óptima con las mejoras realizadas al sistema de distribución. Dichas adiciones deben ser técnicamente adecuadas y razonablemente económicas.

Su alto costo de inversión y su proximidad con el consumidor hacen que el sistema de distribución merezca la importancia y, por lo tanto, se le coloque la atención debida. El objetivo general del planeamiento de sistemas de distribución es el minimizar los costos (de subestaciones, alimentadores laterales, transformadores, redes secundarias, de pérdidas de potencia y energía) sometido a las restricciones (como valores permisibles de voltaje, caídas momentáneas de voltaje, flickers, así como de continuidad en el servicio). (Montecelos, 2014)

1.8.2 Proceso para el planeamiento.

- Las características de la carga determinan el tipo de sistema de distribución requerido.
- Una vez determinadas las cargas, se agrupan para conectarse a las líneas secundarias.
- A las líneas secundarias se les asigna un transformador de distribución.
- Las cargas de los transformadores de distribución son luego combinadas para determinar las demandas del sistema de distribución primaria.
- Las cargas del sistema de distribución primaria, determinan el tamaño y localización de las subestaciones de distribución, así como la ruta y capacidad de las líneas de transmisión asociadas.

En la persecución de los objetivos, el planeador tiene influencia sobre:

- a) Las adiciones y/o modificaciones de las redes de subtransmisión.
- b) Ubicación y tamaño de las subestaciones de distribución.
- c) Áreas de servicio de las subestaciones de distribución.
- d) Localización de interruptores, switches, tamaño de alimentadores.
- e) Niveles de voltaje y caídas de voltaje en el sistema.
- f) Localización de capacitores y reguladores de voltaje.
- g) Cargabilidad de transformadores y alimentadores.
- h) Impedancia, niveles de aislamiento y disponibilidad de transformadores.

El planeamiento no tiene influencia sobre:

- a) Momento y ubicación de las demandas.
- b) Frecuencia y duración de las interrupciones.
- c) Costos de mano de obra, equipos y del dinero
- d) Variaciones de los precios de combustibles y fuentes alternas de energía.
- e) Cambios en las condiciones socioeconómicas y sobre las tendencias del crecimiento de la demanda.
- f) Aumento o disminución de la población.
- g) Cambios de comportamiento como resultado de los avances tecnológicos.
- h) Cambios en las condiciones económicas (PIB, inflación y/o recesión).
- i) Regulaciones de los gobiernos nacionales y locales.

1.8.3 *Factores que afectan el planeamiento del sistema de distribución.*

- a) Las proyecciones de carga, influenciadas a su vez por:
 - Planes de desarrollo comunitario, industrial y municipal.
 - Uso de la tierra.
 - Factores geográficos
 - Datos históricos.
 - Crecimiento de la población.
 - Densidad de la carga.
 - Fuentes de energía alternativas.

b) Expansión de subestaciones influenciada por:

- Factores económicos.
- Limitaciones de tamaño.
- Barreras físicas, tamaño físico y disponibilidad del terreno.
- Limitaciones de proyección.
- Capacidad y configuración actual.
- Proyección de la carga.
- Capacidad de enlace.
- Voltajes de transmisión.
- Rigidez de la transmisión.
- Limitación de alimentadores.

c) Selección del sitio de la subestación influenciada por:

- Localización de subestaciones existentes.
- Regulaciones sobre el uso de la tierra y costos de la tierra.
- Disponibilidad del terreno.
- Localización de líneas de subtransmisión existentes.
- Proyección de la carga.
- Densidad de la carga.
- Proximidad a centros de carga.
- Limitación de los alimentadores.

Las alternativas resultantes deben ser evaluadas cualitativa y cuantitativamente, efectos beneficios vs efectos adversos, efectos de escala absoluta vs efectos de escala relativa.

d) El costo total de la expansión influenciado por:

- Las pérdidas de potencia y energía.
- Los costos de operación, mantenimiento, materiales.
- Los costos del capital.

e) Otros factores tales como:

- Selección de voltajes primarios.
- Selección de rutas de alimentadores.

- Selección de tamaño de conductores, capacidad de equipos.
- Adecuación de sistemas existentes.
- Posibles cargas adicionales.

1.8.4 *Técnicas actuales de planeamiento de sistemas de distribución.*

El uso de las siguientes herramientas y programas está basado en la discrecionalidad del planeador y en la política de operación de la compañía electrificadora: flujos de carga, cálculo de corrientes de fallo y de cortocircuito, cálculo de caídas de voltaje y pérdidas, impedancias del sistema, proyección de cargas, regulación de voltaje, ajuste de reguladores, discriminación y ubicación óptima de bancos de condensadores, etc.

La figura 3. muestra un diagrama de bloques del proceso de planeamiento de sistemas de distribución más empleado. El criterio de aceptabilidad, representando las políticas de la compañía, obligaciones de los usuarios y restricciones adicionales pueden incluir:

- a) Continuidad del servicio.
- b) La caída de voltaje máxima permisible por el usuario más alejado (permanente y momentánea).
- c) La carga pico máxima permisible.
- d) Confiabilidad del servicio.
- e) Pérdidas de potencia y energía.

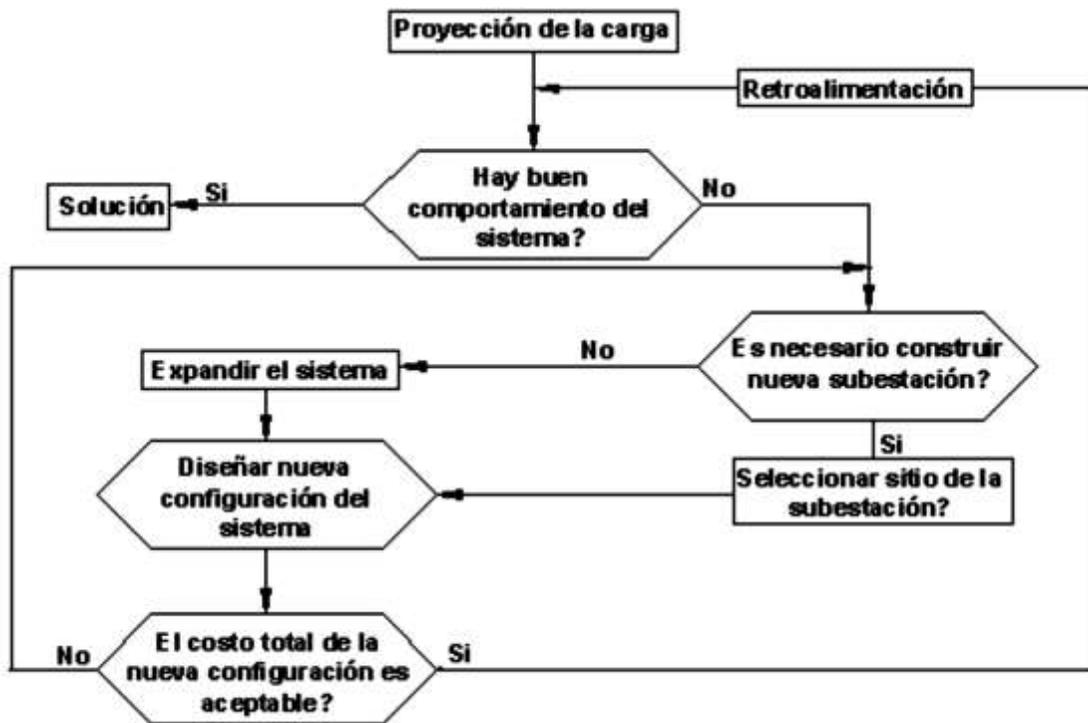


Figura 3 Diagrama de bloques planteamiento de un sistema de distribución.

CAPITULO II

2 PRÁCTICAS DE DISEÑO ACTUALES

Cada uno de los tipos de sistemas de distribución secundaria puede incluir:

- Sistemas de servicio separado para cada consumidor con transformadores de distribución y conexión secundaria separados.
- El sistema radial con secundario principal es alimentado por varios transformadores de distribución que sirve a un grupo de consumidores.
- El sistema de banco secundario con el secundario principal es alimentado por varios transformadores de distribución y estos a su vez son servidos por el mismo alimentador primario.
- El sistema de red secundaria contiene una red principal común alimentado por un número grande de transformadores de distribución y pueden conectarse a varios alimentadores primarios. (Mujal Rosas, 2013)

2.1 Sistema radial.

Es el más empleado por ser fácil de diseñar y de operar.

La mayoría de los sistemas secundarios para servicio residencial urbano y rural y para iluminación comercial son diseñados en forma radial. Es el sistema que tiene el costo inicial más bajo. Requieren de conductores de gran calibre, su cobertura es limitada y una falla puede afectar todo el circuito, este sistema se muestra en la figura 4.

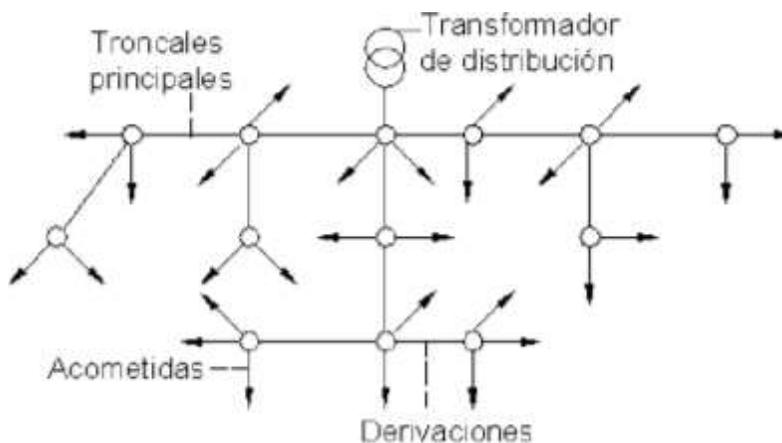


Figura 4 Red de distribución tipo radial.

2.2 Bancos secundarios.

La conexión en paralelo o la interconexión de los dos lados secundarios de dos o más transformadores de distribución que son alimentados por el mismo alimentador principal es algunas veces practicado en áreas residenciales y de alumbrado comercial, donde los servicios están relativamente cercanos a cada uno de los otros, por lo tanto, el espaciamiento requerido entre transformadores de distribución es pequeño. Sin embargo, muchas compañías prefieren conservar los secundarios de cada transformador de distribución separados de todos los demás.

Las ventajas de un banco de transformadores de distribución son las siguientes:

1. Mejoramiento de la regulación de voltaje.
2. Reducción de caídas momentáneas de voltaje (flicker) debido a arranque de motores, pues las corrientes de arranque encuentran líneas de alimentación paralelas.
3. Se mejora la continuidad y la confiabilidad de servicio.
4. Flexibilidad mejorada al acomodarse a los crecimientos de carga a bajo costo.
5. Al alimentar un número grande de consumidores se emplean factores de diversidad de carga que induce ahorros en los kVA requeridos por el transformador de distribución.

Los métodos para bancos secundarios más conocidos son los siguientes:

- a) *Banco secundarios con un fusible intermedio*: comúnmente usado, requiere fusibles de alimentadores principales de retados más bajo, previene la ocurrencia del cascading de fusibles. Simplifica la coordinación de fusibles. Este sistema se muestra en la figura 5.a.
- b) *Banco secundarios con un fusible entre cargas*: es difícil restaurar el servicio después de que muchos fusibles de transformadores adyacentes han sido quemados quedando muchos usuarios fuera de servicio. Este sistema se muestra en la figura 5.b.
- c) *Banco secundario protegido solo en la salida de los transformadores*: este es uno de los sistemas más viejos y ofrece protección rápida. No posee fusibles en red secundaria. Cada uno de los transformadores de distribución y de los fusibles secundarios deben de estar dimensionados para soportar todo el circuito secundario. Este sistema se usa con alguna frecuencia y se muestra en la figura 5.c.

d) Banco secundario protegido con breakers: ofrece protección mucho más grande y es preferido por muchas compañías de energía pues utilizan transformadores completamente auto protegidos que tiene un elemento fusible interno, breakers secundarios, luz señalizadora que advierte de sobrecarga y posee protección contra descargas atmosféricas. En caso de falla de un transformador, el elemento fusible primario y los breakers secundarios abren ambos. Fallas en una sección de secundario abre solo el breaker comprometido y se disminuye el número de usuarios sin servicio. Este sistema se muestra en la figura 5.d.

Una desventaja de los métodos a, b, c, es que requiere vigilancia permanente para detectar fusibles quemados y es difícil coordinar los fusibles secundarios. (Cataño, 2004)

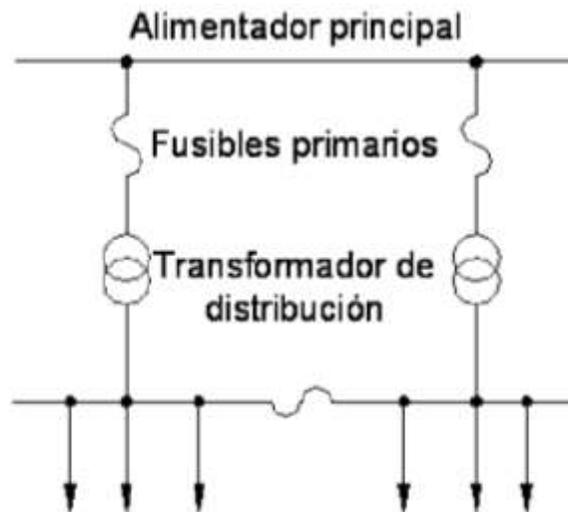


Figura 5 Banco secundario con un fusible intermedio.

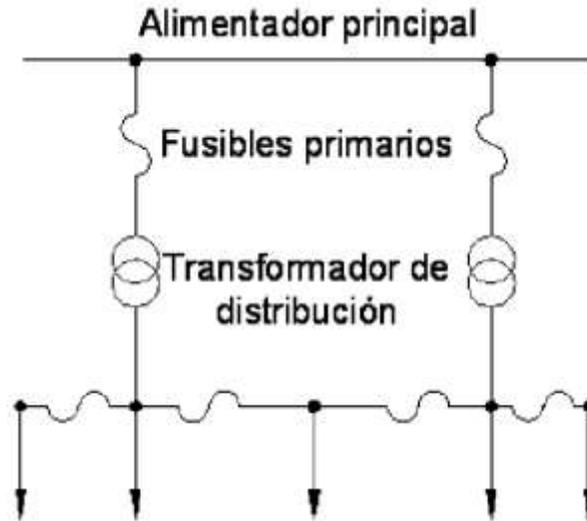


Figura 6 Banco secundario con fusibles entre cargas.

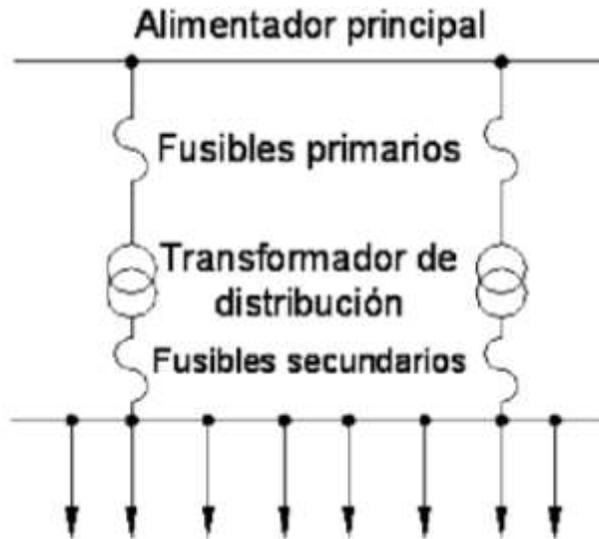


Figura 7 Banco secundario protegido a la salida de los transformadores de distribución.

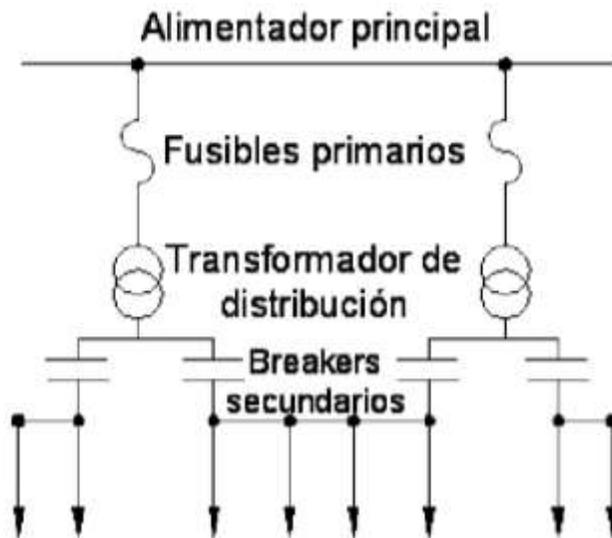


Figura 8 Banco secundario protegido con breakers.

2.3 Sistema selectivo secundario.

Utiliza 2 transformadores de distribución y switches de BT. No es de uso popular por parte de las compañías para servicio de 480V, pero es común en plantas industriales y grandes edificios. El switcheo operacional primario es eliminado y con esto algunas causas de dificultad. Se eliminaron las interrupciones grandes debido a fallas en secundario (en alto grado). La carga es dividida entre los 2 transformadores de distribución y se emplea transferencia automática en una y otra carga, aunque en condiciones normales, cada transformador alimenta su propia carga.

Debe existir estrecha coordinación entre usuario y empresa de energía durante las transferencias planeadas. Fallas temporales en alimentadores principales tienen poco efecto sobre las cargas.

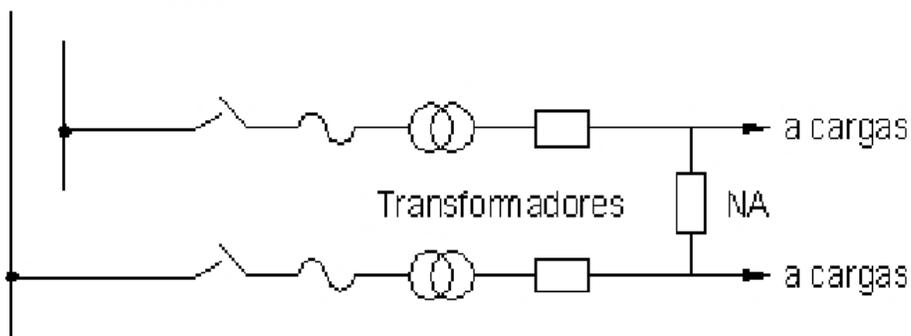


Figura 9 Sistema selectivo secundario.

3 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEFINITIVO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIAS.

El método que ahora se presenta es descrito en el libro de redes de distribución de energía (Castaño, 2004), y se ha aplicado con mucho éxito en la solución de circuitos secundarios que alimentan cargas a lo largo de su recorrido como es el caso de la gran mayoría de redes secundarias, excepción hecha de los alimentadores secundarios en los grandes edificios. En dicho método se dan por conocidas las condiciones del extremo emisor y se toman como referencia, aplicando el concepto de momento eléctrico.

Para la escogencia definitiva de los calibres de los conductores para redes de distribución secundarias se deben respetar los límites máximos tolerables de regulación y pérdidas que se establecen en la norma RA7-060 de EPM (EPM, 2005), teniendo en cuenta además el criterio de calibre económico y sin sobrepasar los límites térmicos tanto para corriente de régimen permanente como de cortocircuito.

3.1 Consideraciones previas al cálculo de redes de redes de distribución secundarias.

Especialmente en redes de gran envergadura hay que determinar mediante una planificación detallada, la concepción básica y la ejecución de toda la red. De esta forma se cumplen las exigencias que a continuación se indican:

- Alta seguridad de abastecimiento con un gasto relativamente bajo.
- Constitución clara de la red.
- Suficiente estabilización de tensión.
- Seguridad de servicio de la instalación aun en caso de producirse perturbaciones en los diversos medios de transmisión (reserva, selectividad).
- Posibilidad de adaptación a futuros aumentos de carga.

Dentro del programa general de planeación, hay que determinar la configuración apropiada de la red, el dimensionamiento y la selección de los medios de servicio eléctrico de las instalaciones de maniobra, de los transformadores de distribución, de las secciones de los conductores y de los dispositivos de protección de la red.

Las redes de instalación pequeñas (usuarios) se abastecen de la red de baja tensión de las compañías distribuidoras de energía.

Los consumidores grandes tales como edificios comerciales, hospitales, hoteles, teatros, centros deportivos y de investigación, escuelas, universidades, aeropuertos, industrias, etc no pueden alimentarse de la red de baja tensión, sino que toman energía de la red de alta tensión. (Leonardo, 2011)

En las redes de baja tensión, la caída máxima de tensión a plena carga, desde el transformador de distribución hasta el último usuario no ha de exceder del 5 % y las pérdidas de potencia en todo el circuito no excederá el 3 %. Esto se consigue utilizando:

- Cables con secciones grandes
- Transformadores de distribución con tomas de derivación en el lado primario para variar la tensión de salida en caso de ser necesario.
- Tramos cortos de cable.

Los puntos de carga originan en la red una caída de tensión cuya magnitud depende de la intensidad de corriente, del factor de potencia y de la impedancia de cortocircuito en el punto de acometida del receptor.

Los receptores de gran potencia con servicio intermitente originan caídas de tensión que pueden tener influencias perturbadoras en las instalaciones de alumbrado, en los dispositivos de medida y regulación sensibles a las variaciones de tensión muy frecuentes.

La influencia de los puntos de carga en las caídas de tensión se reduce mediante:

- Redes separadas de baja tensión para las instalaciones de iluminación y fuerza.
- Empleo de un transformador de distribución propio para alimentar cargas con servicio intermitente como por ejemplo ascensores, bombas de agua, etc.
- Elección de transformadores de distribución con una tensión nominal de cortocircuito más baja.
- Acometida separada de cargas sensibles a las variaciones de tensión, a través de acondicionadores de potencia.

3.2 Cálculo de redes radiales

Será necesario considerar las siguientes modalidades:

3.2.1 Líneas de derivación simple.

En estas líneas, la carga se concentra en el extremo receptor y se presentan con mucha frecuencia como alimentadores de piso en los edificios, en instalaciones industriales y, en redes subterráneas con armarios de distribución. Esta línea se muestra en la figura 7.

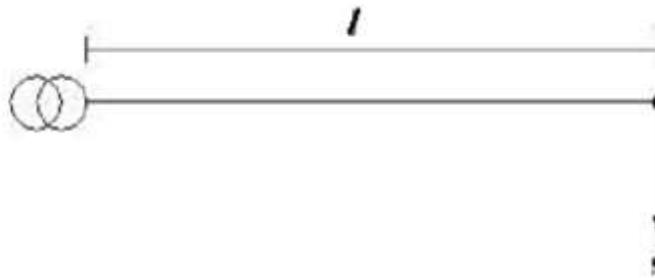


Figura 10 Línea de derivación simple.

3.2.2 Líneas de alimentación.

Estas, están constituidas generalmente por líneas paralelas, usadas solo para alimentar cargas de gran tamaño ubicadas al final de la línea y es más favorable económicamente enviar al centro de distribución dos o más circuitos en paralelo tal como se muestra en la figura 8.

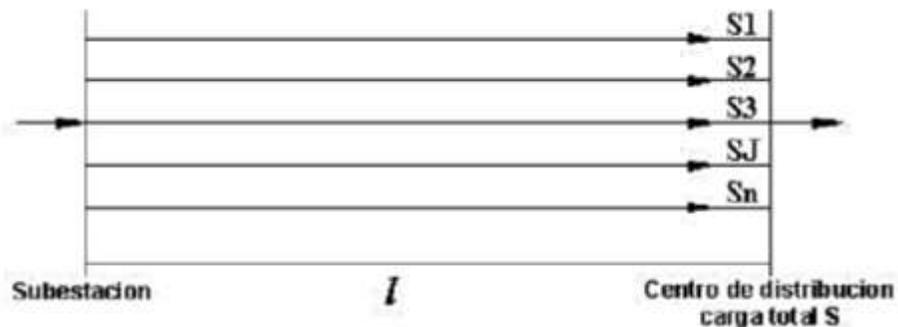


Figura 11 Líneas de alimentación.

Donde, La carga total estará dada por:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_j + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_n \quad (1)$$

Cada que se presenta este caso se recomienda que cada alimentador en paralelo tenga la misma sección para calibres mayores o iguales a 1/0 AWG(American Wire Gauge), por lo que las cargas que tomaría cada alimentador serían iguales, es decir:

$$S_1 = S_2 = \dots = S_j = \dots = S_n \quad (2)$$

o sea que:

$$S_1 = nS_j \quad (3)$$

El momento eléctrico de cada línea es:

$$ME_j = \frac{S}{n} l \quad (4)$$

y momento eléctrico total será:

$$ME = S * l \text{ [kVAm]} \quad (5)$$

3.2.3 Líneas de derivación múltiple de sección constante (Carga punto a punto con origen de momentos fijo)

En este caso, la línea tendrá la misma sección en todo su recorrido y las cargas de diferente magnitud se encuentran espaciadas irregularmente como se muestra en la figura 8.

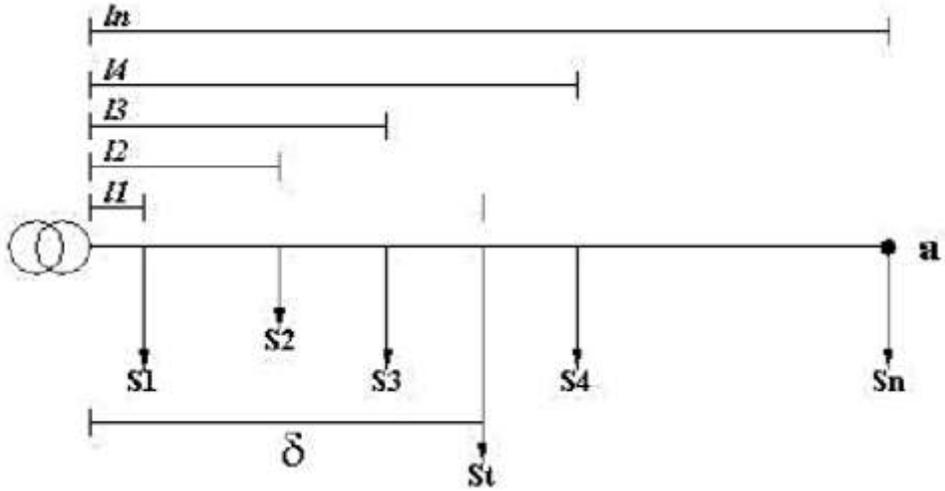


Figura 12 Líneas de derivación múltiple.

El momento eléctrico de la línea será:

$$(ME)_{ta} = S_1 l_1 + S_2 l_2 + S_3 l_3 + \dots + S_n l_n = \sum_{i=1}^n S_j l_j \quad (6)$$

La carga total S_t que corresponde a la suma de todas las cargas conectadas puede concentrarse en un punto situado a una distancia δ del origen llamada longitud ficticia y el punto donde se concentra se llamará centro virtual de carga, donde:

$$\sum_{i=1}^n S_j \delta = \sum_{i=1}^n S_j l_j \quad (7)$$

y, por tanto:

$$\sum_{i=1}^n S_j \delta = \frac{\sum_{i=1}^n S_j}{\sum_{i=1}^n S_j l_j} = \frac{(ME)_{ta}}{S_t} \quad (8)$$

y el momento eléctrico equivalente será:

$$(ME)_{ta} S_t = \delta \quad (9)$$

3.2.4 Líneas de derivación múltiple con sección constante (carga concentrada punto a punto con origen de momentos variable).

Es similar al anterior tipo de línea, lo único que cambia es la manera de tomar el origen de momentos. Se basa en el hecho real de que las cargas están concentradas en puntos fijos

(por ejemplo, los postes), siendo cada punto un origen y un extremo diferente formando así los tramos, lo que facilita la tabulación en la presentación de los cálculos. La línea se presenta en la figura 9.

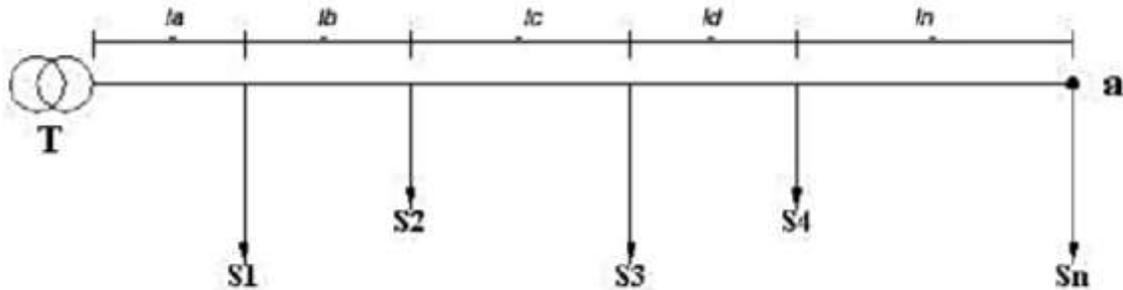


Figura 13 Carga concentrada punto a punto con origen de momentos variable.

El momento eléctrico total de la línea estará dado por:

$$(ME)_{Ta} = (S_1 + S_2 + \dots + S_n)l_a + (S_2 + S_3 + \dots + S_n)l_b + (S_3 + S_4 + \dots + S_n)l_c + S_n l_n \quad (10)$$

al factorizar esta expresión obtenemos:

$$(ME)_{Ta} = S_1 l_a + S_2(l_a + l_b) + S_3(l_a + l_b + l_c) + S_4(l_a + l_b + l_c + l_d) + S_n(l_a + l_b + l_c + l_d + \dots + l_n) \quad (11)$$

fórmula similar a la obtenida para la línea con origen de momentos fijo.

3.2.5 Línea con ramificaciones.

Se trata de la configuración más utilizada en electrificación urbana y rural en Colombia.

Un ejemplo de esta configuración se muestra en la figura 8.

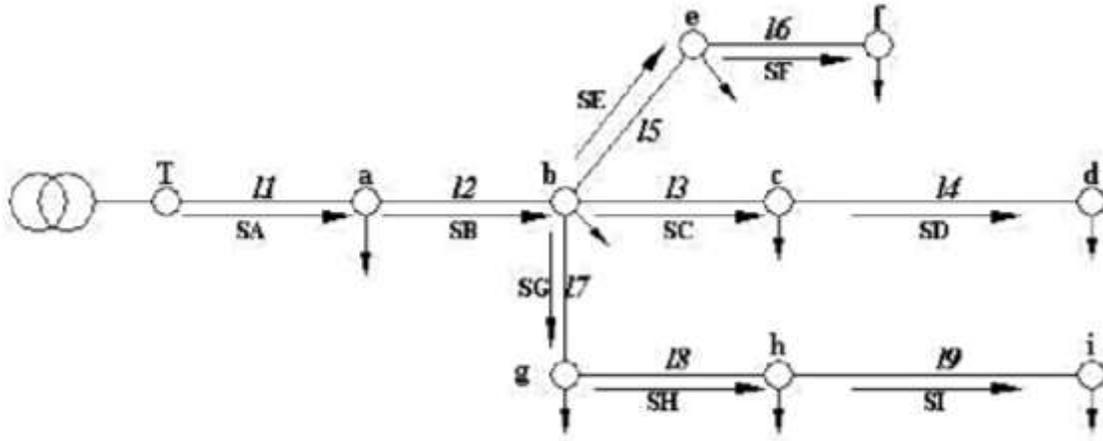


Figura 14 Línea con ramificaciones.

Para su cálculo se recomienda el método de carga concentrada punto a punto con origen de momentos variable. Si se desea variar la sección se recomienda hacerlo sólo en los puntos de derivación de ramificaciones (punto b), bajando hasta 2 secciones el calibre del conductor.

El método básicamente consiste en hallar los flujos de carga en cada tramo: bien sea considerando cargas constantes o usando cargas diversificadas como efectivamente resulta más económico. El momento eléctrico total de una trayectoria determinada será simplemente la suma de los momentos eléctricos de los tramos que la componen. La trayectoria se selecciona buscando la forma lógica de llegar hasta el último usuario

$$(ME)_{Tabcd} = S_A L_1 + S_B L_2 + S_C L_3 + S_D L_4 \quad (12)$$

$$(ME)_{Tabeef} = S_A L_1 + S_B L_2 + S_E L_5 + S_F L_6 \quad (13)$$

$$(ME)_{Tabghi} = S_A L_1 + S_B L_2 + S_G L_7 + S_H L_8 + S_I L_9 \quad (14)$$

3.2.6 Cálculo de redes en anillo sencillo.

Son también llamadas LÍNEAS CERRADAS o LÍNEAS ALIMENTADAS BILATERALMENTE con tensiones iguales en los extremos.

Todos los usuarios conectados al anillo conforman un grupo de n usuarios y cada uno tendrá la misma demanda diversificada pues usan el mismo factor de diversidad. La concepción más común es la de un circuito cerrado alimentado por un solo punto como se

muestra en la figura 10 con 5 derivaciones de carga.

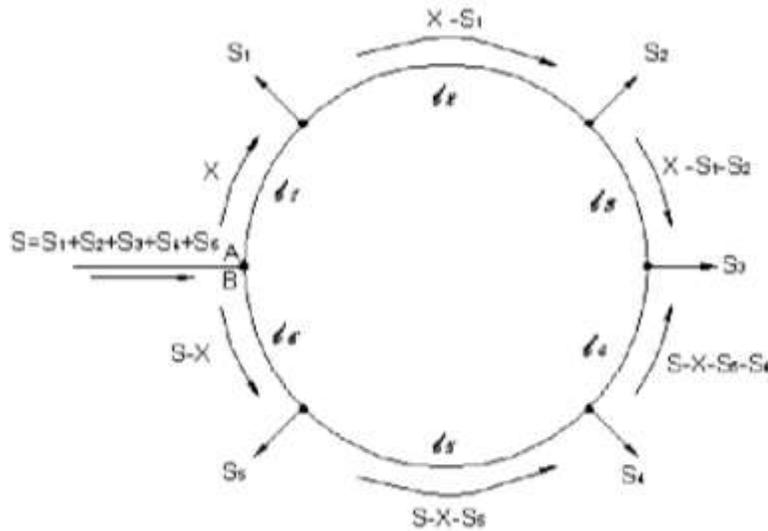


Figura 15 Línea en anillo sencillo.

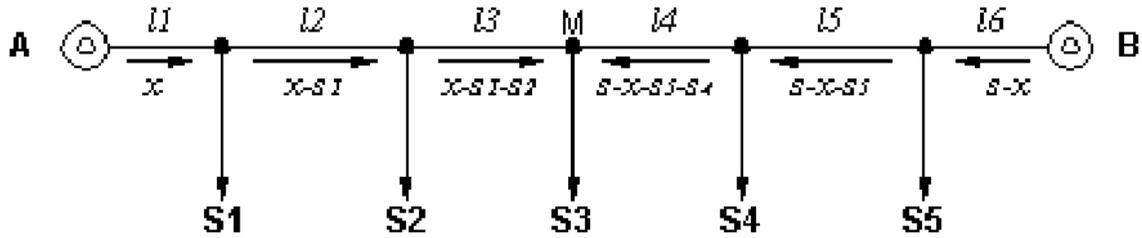


Figura 16 Circuito radial equivalente.

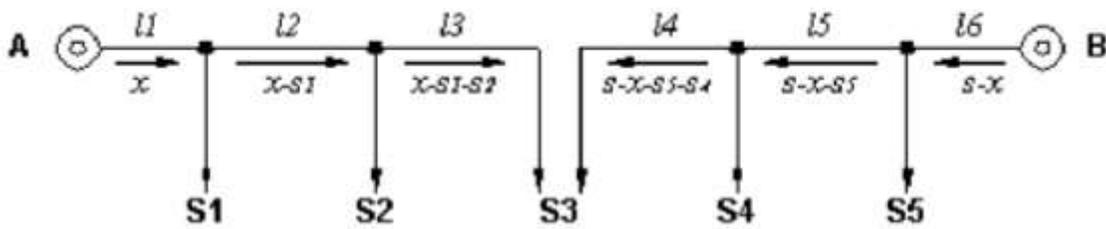


Figura 17 Circuitos radiales equivalentes.

En los circuitos en anillo como el de la figura 10 y en los circuitos con 2 puntos de alimentación como el de la figura 11 y 12 se cumple que:

$$\sum(ME)_{AM} = \sum(ME)_{BM} \quad (15)$$

o sea que:

$$Xl_1 + (X - S_1)l_2 + (X - S_1 - S_2)l_3 = (S - X - S_5 - S_4)l_4 + (S - X - S_5)l_5 + (S - X)l_6 \quad \mathbf{(16)}$$

siempre y cuando la sección se mantenga constante. Concluyéndose así que en las redes de anillo sencillo la sumatoria de momento eléctricos es igual a cero, o sea $\sum(ME) = 0$

Resolviendo a la ecuación 16 se obtiene el valor de X y se determina así el flujo de carga de los 2 segmentos del circuito. Es posible que el punto M que toma carga por ambos lados se desplace a otro sitio, lo cual no cambia lo cálculos ya hechos.

CAPITULO III

4 MEMORIAS DE CÁLCULO

4.1 Descripción del proyecto

El proyecto Quinta Esencia, se encuentra ubicado en la Carrera 10 #19Sur-51 del Municipio de Medellín, Antioquia.



Figura 18 Ubicación del proyecto quinta esencia.

La urbanización Quinta Esencia cuenta con 18 casas. Se tiene proyectada una carga trifásica de 150kVA a 208/120V, dividida en dos transformadores de 75kVA. La instalación contará con cargas de iluminación y tomas en general,

4.2 Cálculo Acometidas por casas.

4.2.1 Descripción de las cargas.

La instalación eléctrica del Quinta Esencia se diseñó para prestar un servicio residencial, el cual cuenta con un sistema trifásico, dos transformadores de 75kVA, clase H, 208/120V. Las cargas según las especificaciones entregadas se describen a continuación:

- Casa una planta $396m^2$

Se proyecta un tablero para cada casa, con una carga de 10.9kVA cada una, según cuadro de cargas, tabla 2.

- *Casa una planta 400m²*

Se proyecta un tablero para cada casa, con una carga de 10.3kVA cada una, según cuadro de cargas, tabla 3.

- *Casa Típica de 470m²*

Se proyecta un tablero para cada casa, con una carga de 12kVA cada una, según cuadro de cargas, tabla 4.

- *Casa Típica de 545m²*

Se proyecta un tablero para cada casa, con una carga de 13.3kVA cada una, según cuadro de cargas, tabla 5.

- *Zonas comunes*

Se proyecta un tablero para zonas comunes, portería y alumbrado público, con una carga de 10kVA, según cuadro de cargas, tabla 6.

4.2.2 *Cálculo del transformador.*

A continuación, se muestra el cálculo de la carga total del proyecto.

Tabla 2 *Cálculo de la capacidad instalada del proyecto Quinta Esencia*

CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR				
LOCALIZACIÓN	CANTIDAD	CARGA (VA)	CARGA DEM (VA)	TOTAL CARGAS (kVA)
CASA 396 m2	7	10.930	6.558	45,906
CASA 400 m2	3	10.370	6.222	18,666
CASA 470 m2	6	12.080	7.248	43,488
CASA 545 m2	2	13.330	7.998	15,996
ZONAS COMUNES	1	10.000	6.000	6
TOTAL CARGA DEMANDADA (kVA)				130
PROYECCIÓN CARGA FUTURA				25%
TOTAL CARGA (kVA)				163
NOTA: SE SELECCIONA DOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE 75kVA, 13200/208/120 V,				

Según la evaluación del proyecto, la instalación tiene una carga proyectada de 157kVA a 208/120 V y se proyecta dos transformadores trifásicos de 75kVA.

4.2.3 Cálculo de protecciones y acometida.

La corriente en el lado de alta tensión es:

$$\frac{75kVA}{13.2kV*\sqrt{3}} = 3.28A$$

Se seleccionan fusible de 5T según norma operador de red. Los fusibles tipo T (rápido) al ser probados según la norma ANSI C37.42 (NTC 2133) tienen que cumplir los valores de corriente mínimos y máximos requeridos para fundir en los tres valores de tiempo indicados en dichas normas.

La corriente de la carga en el lado de baja tensión teniendo en cuenta la potencia nominal del transformador es:

$$\frac{75kVA}{220V*\sqrt{3}} = 196.82A$$

Según tabla 310-16 NTC 2050, el conductor para esta corriente es un cable No. 4/0 AWG, THWN/THWN, soporta 230A para 75°C temperatura ambiente. Por tanto, la acometida del transformador de 75kVA se selecciona así:

Para cada fase 1x No.4/0 AWG Cable de Cu THHN/THWN

Para cada Neutro 2x No.1/0 AWG Cable de Cu THHN/THWN

Para tierra 1 x No.2 Cable de Cu THHN/THWN (Tabla 250.95 NTC)

Canalización subterránea en tubería PVC de Φ3”

La protección termo-magnética que se selecciona para la instalación es de 3x250 Icc 15 kA. A, 600V.

4.2.4 Cuadros de carga.

Las siguientes tablas muestran los cuadros de cargas del proyecto.

Tabla 3 Cuadro de cargas Casa 396m²

 CUADRO DE CARGAS TABLERO MULTIBREAKER TMB CASA 396m² QUINTA ESENCIA										
TABLERO MULTIBREAKER C 18 CIRCUITOS MONOFÁSICO, 75A, 2F, 4H, (2 LÍNEAS + NEUTRO AISLADO + TERMINAL DE TIERRA CON TOTALIZADOR)										
CTO	TOMAS		LUMINARIA		POTENCIA (w)	R (W)	S (W)	CALIBRE	PROTECCIÓN	DESTINO
	110V	220V	110V	220V						
1					1200		693	12	2X20A	Horno cocina
2		1				693				
3	4		11		1.270		1.270	12	1X20A	Iluminación y tomas Alcoba de servicio, Comedor, circulación - Iluminación cocina y ropas
4	2				360	360		12	1X20A	Tomas Ropas
5	5				900		900	12	1X20A	Artefactos cocina
6	7		19		2.210	2.210		12	1X20A	Iluminación y tomas Salón, terraza, circulación y baño social
7	9		12		2.220		2.220	12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba 2 y Family
8	4		15		1.470	1.470		12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba 1 - Iluminación circulación y escaleras
9	6		9		1.530		1.530	12	1X20A	Iluminación y tomas Alcoba Principal, baño y vestier
10	4		5		970	970		12	1X20A	Iluminación y tomas Garaje, cuartos utiles y escalas
11					0		0	12	1X20A	Reserva
12					0	0		12	1X20A	Reserva
13					0		0	12	1X20A	Reserva
14					0	0		12	1X20A	Reserva
15					0		0	12	2X20A	Reserva
16					0	0				
17					0		0	12	2X20A	Reserva
18					0	0				
TOTAL	41	1	71	0	10.930	5.010	5.920			
Carga Instalada:					10.930 W	Voltaje:				208 V
Fact de Demanda:					0,60	Fases:				2
IL y Tomas Prim 3000W al 100%					3.000 W	Dist. Acometida:				20 m
IL y Tomas Resto al 35%					2.776 W	Calibre Fase:				6 AWG THHN
Cargas Especiales:					1.200	% de Carga:				36 %
Carga Dem:					6.496 W	Regulación:				0,77 %
I carga:					18 A	Prot. General:				50 A
I carga +25%					23 A	Acometida:				2No6 + 1No6 + 1No8 AWG THHN



CUADRO DE CARGAS

TABLERO MULTIBREAKER TMB CASA 400m2 QUINTA ESENCIA

TABLERO MULTIBREAKER C 18 CIRCUITOS MONOFÁSICO, 75A, 2F, 4H, (2 LÍNEAS + NEUTRO AISLADO + TERMINAL DE TIERRA) CON TOTALIZADOR

CTO	TOMAS		LUMINARIA		POTENCIA (w)	R (W)	S (W)	CALIBRE	PROTECCIÓN	DESTINO
	110V	220V	110V	220V						
1		1			1200	693	693	12	2X20A	Horno cocina
2						693				
3	4		16		1.520		1.520	12	1X20A	Iluminación y tomas Alcobas de servicio, Comedor, circulación - Iluminación cocina y ropas
4	2				360	360		12	1X20A	Tomas ropas
5	5		7		1.250		1.250	12	1X20A	Iluminación y tomas garaje
6	6				1.080	1.080		12	1X20A	Tomas cocina
7	6		14		1.780		1.780	12	1X20A	Iluminación y tomas salón - Iluminación exterior
8	8		17		2.290	2.290		12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba principal, baño, vestier y Family
9	8		13		2.090		2.090	12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba 1 y 2
10					0	0		12	1X20A	Reserva
11					0		0	12	1X20A	Reserva
12					0		0	12	1X20A	Reserva
13					0		0	12	1X20A	Reserva
14					0		0	12	1X20A	Reserva
15					0		0	12	2X20A	Reserva
16						0				
17					0		0	12	2X20A	Reserva
18					0		0			
TOTAL	39	1	67	0	10.370	3.730	6.640			
Carga instalada:					10.370 W			Voltaje:	208 V	
Fact de Demanda:					0,60			Fases:	2	
IL y Tomas Prim 3000W al 100%					3.000 W			Dist. Acometida:	20 m	
IL y Tomas Resto al 35%					2.580 W			Calibre Fase:	8 AWG THHN	
Cargas Especiales:					1.200			% de Carga:	35 %	
Carga Dem:					6.300 W			Regulación:	0,73 %	
I carga:					17 A			Prot. General:	50 A	
I carga +25%:					22 A			Acometida:	2No6 + 1No6 + 1No8 AWG THHN	

Tabla 4 Cuadro de cargas Casa 400m²

Tabla 5 Cuadro de cargas Casa 470m2

 CUADRO DE CARGAS TABLERO MULTIBREAKER TMB CASA 470m2 QUINTA ESENCIA										
TABLERO MULTIBREAKER C 18 CIRCUITOS MONOFÁSICO, 75A, 2F, 4H, (2 LÍNEAS + NEUTRO AISLADO + TERMINAL DE TIÉRICON TOTALIZADOR										
CTO	TOMAS		LUMINARIA		POTENCIA (w)	R (W)	S (W)	CALIBRE	PROTECCIÓN	DESTINO
	110V	220V	110V	220V						
1		1			1200	693	693	12	2X20A	Homo cocina
2						693				
3	4		16		1.520		1.520	12	1X20A	Iluminación y tomas Alcoba de servicio, Comedor, circulación - Iluminación cocina y ropas
4	2				360	360		12	1X20A	Tomas ropas
5	7				1.260		1.260	12	1X20A	Tomas cocina
6	8		21		2.490	2.490		12	1X20A	Iluminación y tomas salón- estudio - Iluminacion exterior
7	11		12		2.580		2.580	12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba 2 y Family
8	4		13		1.370	1.370		12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba 1 y circulación
9	6		9		1.530		1.530	12	1X20A	Iluminación y tomas alcoba principal, baño, vestier y Family
10	4		5		970	970		12	1X20A	Iluminación y tomas garaje
11					0		0	12	1X20A	Reserva
12					0		0	12	1X20A	Reserva
13					0		0	12	1X20A	Reserva
14					0		0	12	1X20A	Reserva
15					0		0	12	2X20A	Reserva
16						0				
17					0		0	12	2X20A	Reserva
18						0				
TOTAL	46	1	76	0	12.080	5.190	6.890			
Carga Instalada:					12.080 W			Voltaje:	208 V	
Fact de Demanda:					0,60			Fases:	2	
IL y Tomas Prim 3000W al 100%					3.000 W			Dist. Acometida:	20 m	
IL y Tomas Resto al 35%					3.178 W			Calibre Fase:	6 AWG THHN	
Cargas Especiales:					1.200			% de Carga:	38 %	
Carga Dem:					6.898 W			Regulación:	0,87 %	
l carga:					19 A			Prot. General:	50 A	
l carga +25%:					24 A			Acometida:	2No6 + 1No6 + 1No8 AWG THHN	



CUADRO DE CARGAS

TABLERO MULTIBREAKER TMB CASA 545m² QUINTA ESENCIA

TABLERO MULTIBREAKER C 18 CIRCUITOS MONOFÁSICOS, 75A, 2F, 4H, (2 LÍNEAS + NEUTRO AISLADO + TERMINAL DE TIERRA CON TOTALIZADOR)

CTO	TOMAS		LUMINARIA		POTENCIA (w)	R (W)	S (W)	CALIBRE	PROTECCIÓN	DESTINO
	110V	220V	110V	220V						
1		1			1200		693	12	2x20A	Horno cocina
2						693				
3	4		16		1.520		1.520	12	1x20A	Iluminación y tomas Alcoba de servicio, Comedor, circulación - Iluminación cocina y ropas
4	2				360		360	12	1x20A	Tomas ropas
5	7				1.260		1.260	12	1x20A	Tomas cocina
6	8		20		2.440	2.440		12	1x20A	Iluminación y tomas salón- Family primer piso - Iluminacion exterior
7	12		16		2.960		2.960	12	1x20A	Iluminación y tomas alcoba 2 y 3
8	8		18		2.340	2.340		12	1x20A	Iluminación y tomas alcoba 1 - Family segundo piso - escaleras
9	6		9		1.530		1.530	12	1x20A	Iluminación y tomas alcoba principal, baño, vestier y Family
10	4		4		920	920		12	1x20A	Iluminación y tomas garaje
11					0		0	12	1x20A	Reserva
12					0	0		12	1x20A	Reserva
13					0		0	12	1x20A	Reserva
14					0	0		12	1x20A	Reserva
15					0		0	12	2x20A	Reserva
16					0	0				
17					0		0	12	2x20A	Reserva
18					0	0				
TOTAL	51	1	83	0	13.330	6.060	7.270			
Carga Instalada:					13.330 W			Voltaje:	208 V	
Fact de Demanda:					0,60			Fases:	2	
IL y Tomas Prim 3000W al 100%					3.000 W			Dist. Acometida:	20 m	
IL y Tomas Resto al 35%					3.616 W			Calibre Fase:	6 AWG THHN	
Cargas Especiales:					1.200			% de Carga:	41 %	
Carga Dem:					7.336 W			Regulación:	0,95 %	
l carga:					20 A			Prot. General:	50 A	
l carga +25%					25 A			Acometida:	2No6 + 1No6 + 1No8 AWG THHN	

Tabla 6 Cuadro de cargas Casa 545m²

4.2.5 Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.

Tabla 7 Análisis de Riesgo de Origen Eléctrico.

RIESGO A EVALUAR:	por _____ (al) o (en) _____									
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)		FACTOR DE RIESGO (CAUSA) (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)					
	POTENCIAL <input type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>	FRECUENCIA						
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa	E	D	C	B	A	
					No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molesta funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
Evaluador: _____ MP: _____ Fecha: _____										

Tabla 8 Decisiones y acciones para controlar el riesgo.

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	Inadmisible para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué puede salir mal o fallar? • ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? • ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades.

De acuerdo a la tabla 7. Se analizarán dos riesgos potenciales posibles.

- *Evento 1:* Electrocutión por contacto directo o indirecto con el gabinete de medida y distribución.
- *Evento 2:* Electrocutión por contacto directo o indirecto con las salidas de tomas e iluminación.

En personas: grado 1, Frecuencia: D

Económicas: grado 1, Frecuencia: E

Ambientales: grado 1, Frecuencia: E

El resultado arrojado por el análisis de la tabla 8. Es: muy bajo.

Se recomienda vigilar posibles cambios en las instalaciones eléctricas internas.

4.2.6 Cálculo económico de los conductores.

Para el cálculo de los conductores se empleó la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\theta} \quad (17)$$

La siguiente tabla muestra el cálculo de los calibres de los conductores de los gabinetes y tableros del proyecto.

Tabla 9 Cálculo de los calibres de los conductores.

CÁLCULO ECONÓMICO DE LOS CONDUCTORES										
Descripción	Longitud [km]	kVA Total	Acometida	Resistencia [Ω/km]	Reactancia [Ω/km]	Corriente [A]	Voltaje [V]	Nº Líneas vivas	Factor de potencia	Sen(θ)
Casa 396m2	0,020	10,90	3No6+ 1No6 + 1No8	1,610	0,167	31,85	208	2	0,95	0,31
Casa 400m2	0,020	10,30	3No6+ 1No6 + 1No8	1,610	0,167	30,09	208	2	0,95	0,31
Casa 470m2	0,020	12,00	3No6+ 1No6 + 1No8	1,610	0,167	35,06	208	2	0,95	0,31
Casa 545m2	0,020	13,30	3No6+ 1No6 + 1No9	1,610	0,167	38,86	208	2	0,95	0,31

4.2.6.1 Cálculo de pérdidas de energía.

Para los cálculos de pérdidas en los conductores se empleó la siguiente expresión:

$$\%Pérdida = \frac{I^2 \cdot R \cdot L \cdot N^{\circ} \text{ líneas vivas}}{P_t \cdot \text{Fact Diversidad} \cdot 1000 \cdot F_p} * 100 \quad (18)$$

Dónde:

L: Longitud del tramo

I: Corriente en el tramo

RL: Resistencia en corriente alterna del conductor

XL: Reactancia del conductor
V: Tensión máxima del sistema

La siguiente tabla muestra los resultados de las pérdidas:

Tabla 10 Cálculo de pérdidas de energía.

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA											
Descripción	Longitud	kVA Total	Pérdida	Acometida	Resistencia	Reactancia	Corriente	Voltaje	N° Líneas vivas	Factor de potencia	Sen(θ)
	[km]		[%]		[Ω/km]	[Ω/km]	[A]	[V]			
Casa 396m ²	0,020	10,30	0,99	3No6+ 1No6+ 1No8	1,610	0,167	30,09	208	2	0,95	0,31
Casa 545m ²	0,020	10,90	1,05	3No6+ 1No6+ 1No8	1,610	0,167	31,85	208	2	0,95	0,31
Casa 400m ²	0,020	12,00	1,16	3No6+ 1No6+ 1No8	1,610	0,167	35,06	208	2	0,95	0,31
Casa 470m ²	0,020	13,30	1,28	3No6+ 1No6+ 1No9	1,610	0,167	38,86	208	2	0,95	0,31

4.2.6.1.1 Cálculo regulación acometidas para tableros eléctricos

Para los cálculos de regulación en los conductores se empleó la siguiente expresión:

$$\%Regulación = \frac{L \cdot I \cdot (R_L \cos\theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V} * 100 \quad (19)$$

Dónde:

- L:** Longitud del tramo
- I:** Corriente en el tramo
- RL:** Resistencia en corriente alterna del conductor
- Pt:** Potencia activa del tramo
- Fp:** Factor de potencia
- Factor de diversidad:** ($\sqrt{3}$) Sistema trifásico,
(2) Sistema monofásico

- Tablero Multibreaker Casa Típica de 396m².

La corriente de la carga instalada del Gabinete es de:

$$\frac{10.93kVA}{208V * \sqrt{3}} = 30.33A$$

Según tabla 310-16 (NTC-2050), la capacidad de corriente siguiente para esta acometida es de 35A, por norma y distancia el valor de la acometida es de cable No. 6 AWG, Cable Cu LSHF, soporta 65A para 75°C temperatura ambiente. Por tanto, la acometida para este tablero se selecciona así:

Para cada fase 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para Neutro 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para tierra 1 x No. 8 Cable de Cu THHN Tabla 250.95 (NTC-2050)

Canalización por tubería EMT 1x1-1/2Φ”

La protección termo-magnética que se selecciona para la instalación es de 3x40A, Icc 10kA.

La acometida tiene una longitud de 20 metros y una regulación de 0.77%, menor a la exigida por la norma.

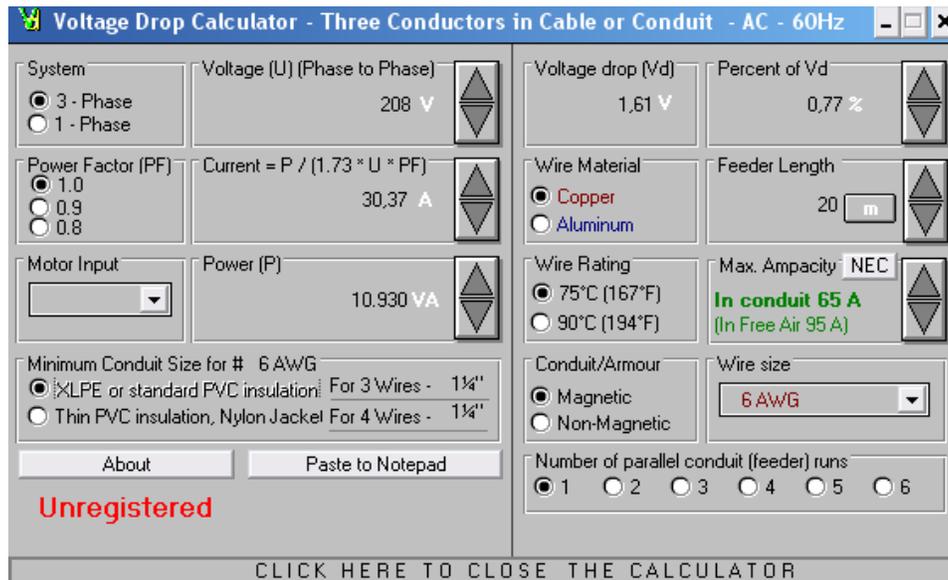


Figura 19 Cálculo regulación casa de 396m² con software VDROP

- Tablero Multibreaker Casa Típica una planta de 400m².

La corriente de la carga instalada del Gabinete es de:

$$\frac{10.37kVA}{208V * \sqrt{3}} = 28.78A$$

Según tabla 310-16 NTC (NTC-2050), la capacidad de corriente siguiente para esta acometida es de 35A, por norma y distancia el valor de la acometida es de cable No. 6 AWG, Cable Cu LSHF (Low Smoke Halogen Free), soporta 65A para 75°C temperatura ambiente. Por tanto, la acometida para este tablero se selecciona así:

Para cada fase 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para Neutro 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para tierra 1 x No. 8 Cable de Cu THHN Tabla 250.95 (NTC-2050)

Canalización por tubería EMT 1x1-1/2Φ”

La protección termo-magnética que se selecciona para la instalación es de 3x40A, Icc 10kA. La acometida tiene una longitud de 20 metros y una regulación de 0.73%, menor a la exigida por la norma.

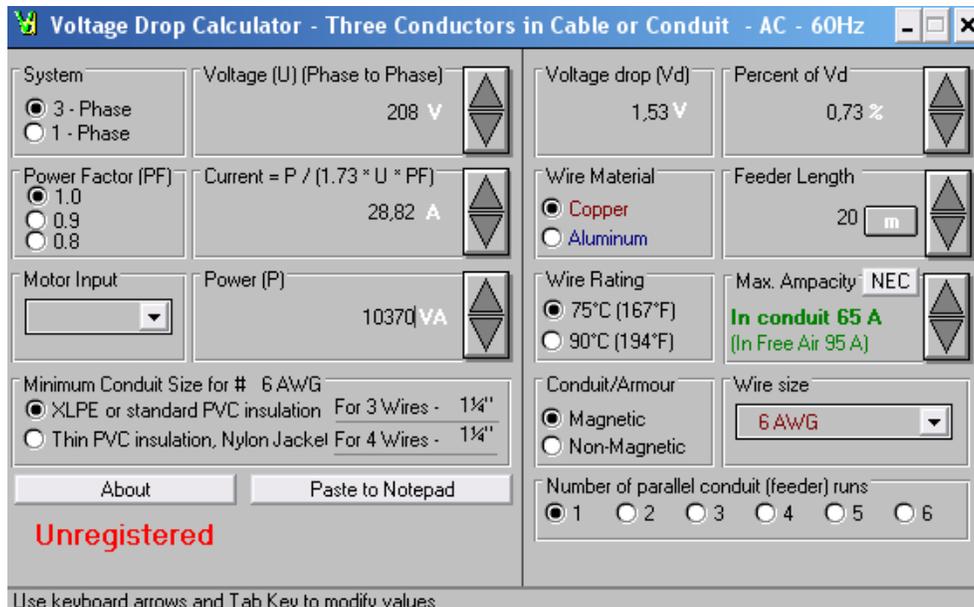


Figura 20 Cálculo regulación casa de 400m² con software VDROP

- Tablero Multibreaker Casa Típica de 470m².

La corriente de la carga instalada del Gabinete es de:

$$\frac{12.08kVA}{208V * \sqrt{3}} = 33.53A$$

Según tabla 310-16 NTC (NTC-2050), la capacidad de corriente siguiente para esta acometida es de 35A, por norma y distancia el valor de la acometida es de cable No. 6 AWG, Cable Cu LSHF, soporta 65A para 75°C temperatura ambiente. Por tanto, la acometida para este tablero se selecciona así:

Para cada fase 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para Neutro 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para tierra 1 x No. 8 Cable de Cu THHN Tabla 250.95 (NTC-2050)

Canalización por tubería EMT 1x1-1/2Φ”

La protección termo-magnética que se selecciona para la instalación es de 3x40A, Icc 10kA.

La acometida tiene una longitud de 20 metros y una regulación de 0.87%, menor a la

exigida por la norma.

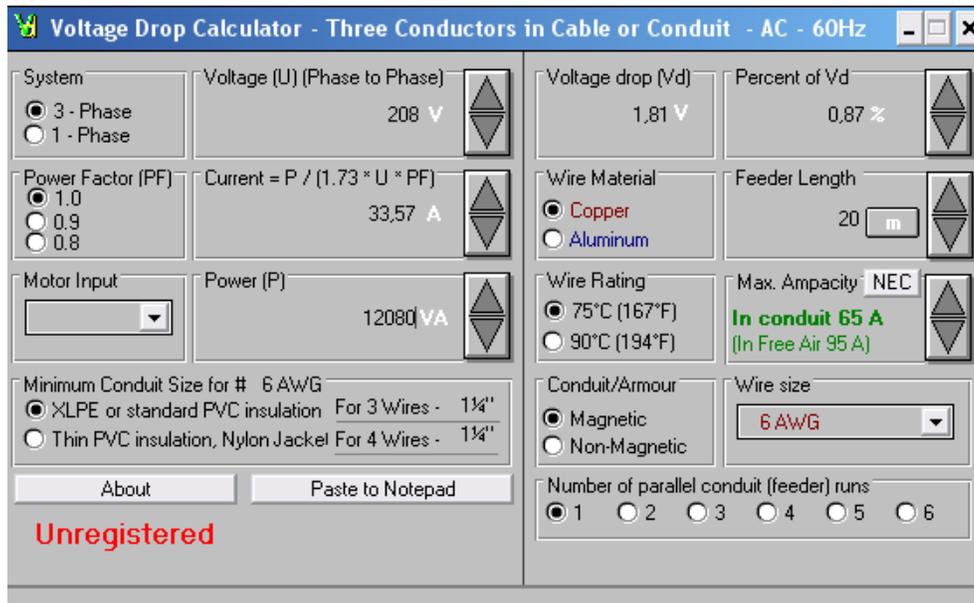


Figura 21 Cálculo regulación casa de 470m² con software VDROP

- Tablero Multibreaker Casa Típica de 545m².

La corriente de la carga instalada del Gabinete es de:

$$\frac{13.33kVA}{208V * \sqrt{3}} = 37A$$

Según tabla 310-16 NTC (NTC-2050), la capacidad de corriente siguiente para esta acometida es de 50A, por norma y distancia el valor de la acometida es de cable No. 6 AWG, Cable Cu LSHF, soporta 65A para 75°C temperatura ambiente. Por tanto, la acometida para este tablero se selecciona así:

Para cada fase 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para Neutro 1 x No. 6 AWG Cable de Cu THHN

Para tierra 1 x No. 8 Cable de Cu THHN Tabla 250.95 (NTC-2050)

Canalización por tubería EMT 1x1-1/2Φ"

La protección termo-magnética que se selecciona para la instalación es de 3x40A, Icc 10kA.

La acometida tiene una longitud de 20 metros y una regulación de 0.96%, menor a la exigida por la norma.

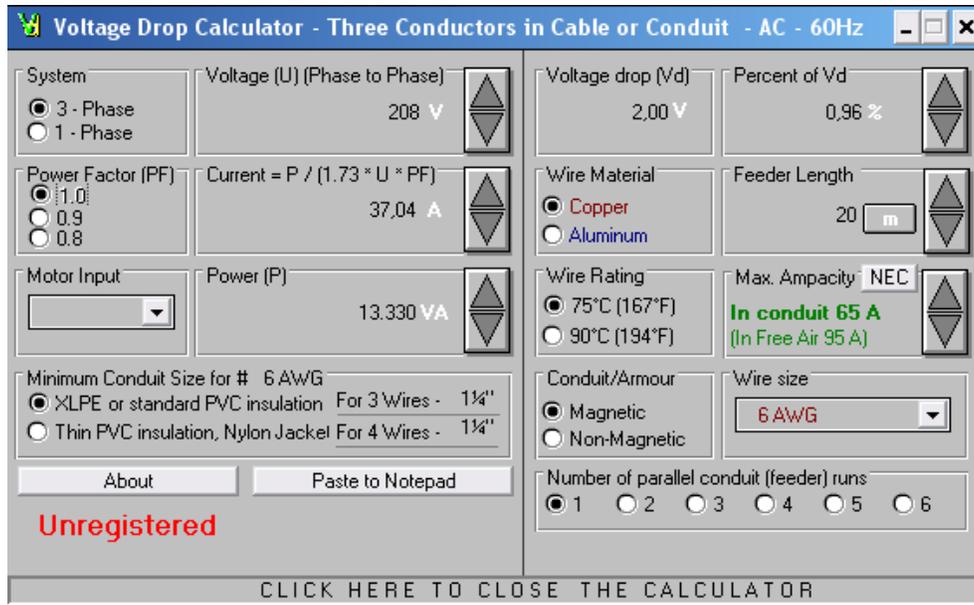


Figura 22 Cálculo regulación casa de 470m² con software VDROP

Tabla 11 Cálculo regulación casas quinta esencia.

CÁLCULO DE REGULACIÓN											
Descripción	Longitud [km]	kVA Total	Regulación [%]	Acometida	Resistencia	Reactancia	Corriente	Voltaje	N° Líneas vivas	Factor de potencia	Sen(θ)
					[W/km]	[%]	[A]	[V]			
Casa 396m ²	0,020	10,30	0,79	3No6+1No6+1No8	1,610	0,167	30,09	208	2	0,95	0,31
Casa 400m ²	0,020	10,90	0,84	3No6+1No6+1No8	1,610	0,167	31,85	208	2	0,95	0,31
Casa 470m ²	0,020	12,00	0,92	3No6+1No6+1No8	1,610	0,167	35,06	208	2	0,95	0,31
Casa 545m ²	0,020	13,30	1,02	3No6+1No6+1No8	1,610	0,167	38,86	208	2	0,95	0,31

4.3 Diseño de redes exteriores.

Para el cálculo de las redes exteriores subterráneas se usó el método de tramo a tramo de la configuración radial, como las distancias de las acometidas eran muy grandes se planteó una configuración de dos transformadores en serie para alimentar la carga de cada casa.

A su vez se asumió una potencia promedio de cada casa dejando un valor fijo de 6.7kVA a 0.9 de Factor de potencia (F.P.) por casa ya que la variación de las cargas era muy poca.

Se diseñó con valores de demanda obtenidos en cuadros de cargas, ya que el valor de diversificación establecido por el operador de red en la norma (RA8-009) para esta instalación no suplía los requerimientos de los usuarios finales.

4.3.1 Método tramo a tramo

Para el cálculo de los conductores usando el método de tramo a tramo se emplea una tensión de 208 como se describe en la tabla 1. Y un factor de corrección igual a 1.73 al ser este un sistema trifásico.

Se emplearon las ecuaciones (17) para el cálculo de la corriente en cada tramo y la ecuación (19) para el cálculo de la regulación en cada tramo y la regulación acumulada, la cual no debe superar el 3% según lo establecido por la norma (NTC-2050, 1998).

De este modo se seleccionaron los tramos a usar y se procedió al cálculo usando como base para el cálculo una hoja de Excel que permitió agilizar y simplificar este proceso.

Se hizo necesario conocer los valores de R_C y X_L del conductor seleccionado para así poder realizar el correcto cálculo de regulación. Para esto se remitió a la tabla 9 de la (NTC-2050, 1998) en la cual se encuentra estos valores en diferente tipo de conduit. Para nuestro caso particular se seleccionó los valores para un conduit en PVC y para corriente alterna.



Figura 23 seccionamiento usado para el cálculo de conductores

Tabla 12 Cálculo conductor transformador 1

Calculo regulación transformador No. 1					
Tramo	P1-P2	P2-P3	P1-P4	P4-P5	P5-P6
Longitud [m]	27	51	39	36	52
N° Usuarios	3	2	7	5	3
S/Usuario [kVA]	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
S Tramo [kVA]	20,10	13,40	46,90	33,50	20,10
Corriente [A]	55,79	37,19	130,18	92,99	55,79
Calibre conductor	1/0	1/0	4/0	4/0	4/0
KG [N° cond.]	41,404	41,404	22,132	22,132	22,132
R% Parcial	0,53	0,66	0,99	0,65	0,57
R% Total	0,53	1,19	0,99	1,65	2,21
Pp% Parcial	0,90	1,13	1,56	1,03	0,89
Pp% Total	0,90	2,04	1,56	2,60	3,49
Resistencia [Ω/km]	0,394	0,394	0,203	0,203	0,203
Reactancia [Ω/km]	0,144	0,144	0,135	0,135	0,135
FP	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Sen(θ)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

Tabla 13 Cálculo conductor transformador 1

Calculo regulación transformador No. 2			
Tramo	P7-P8	P8-P9	P9-P10
Longitud [m]	28	33	41
N° Usuarios	8	6	4
S/Usuario [kVA]	6,7	6,7	6,7
S Tramo [kVA]	53,60	40,20	26,80
Corriente [A]	148,78	111,58	74,39
Calibre conductor	4/0	4/0	4/0
KG [N° cond.]	22,132	22,132	22,132
R% Parcial	0,81	0,72	0,60
R% Total	0,81	1,53	2,13
Pp% Parcial	1,28	1,13	0,94
Pp% Total	1,28	2,42	3,36
Resistencia [Ω/km]	0,203	0,203	0,203
Reactancia [Ω/km]	0,135	0,135	0,135
FP	0,95	0,95	0,95
Sen(θ)	0,31	0,31	0,31

4.4 Informe de coordinación de protecciones para el sistema.

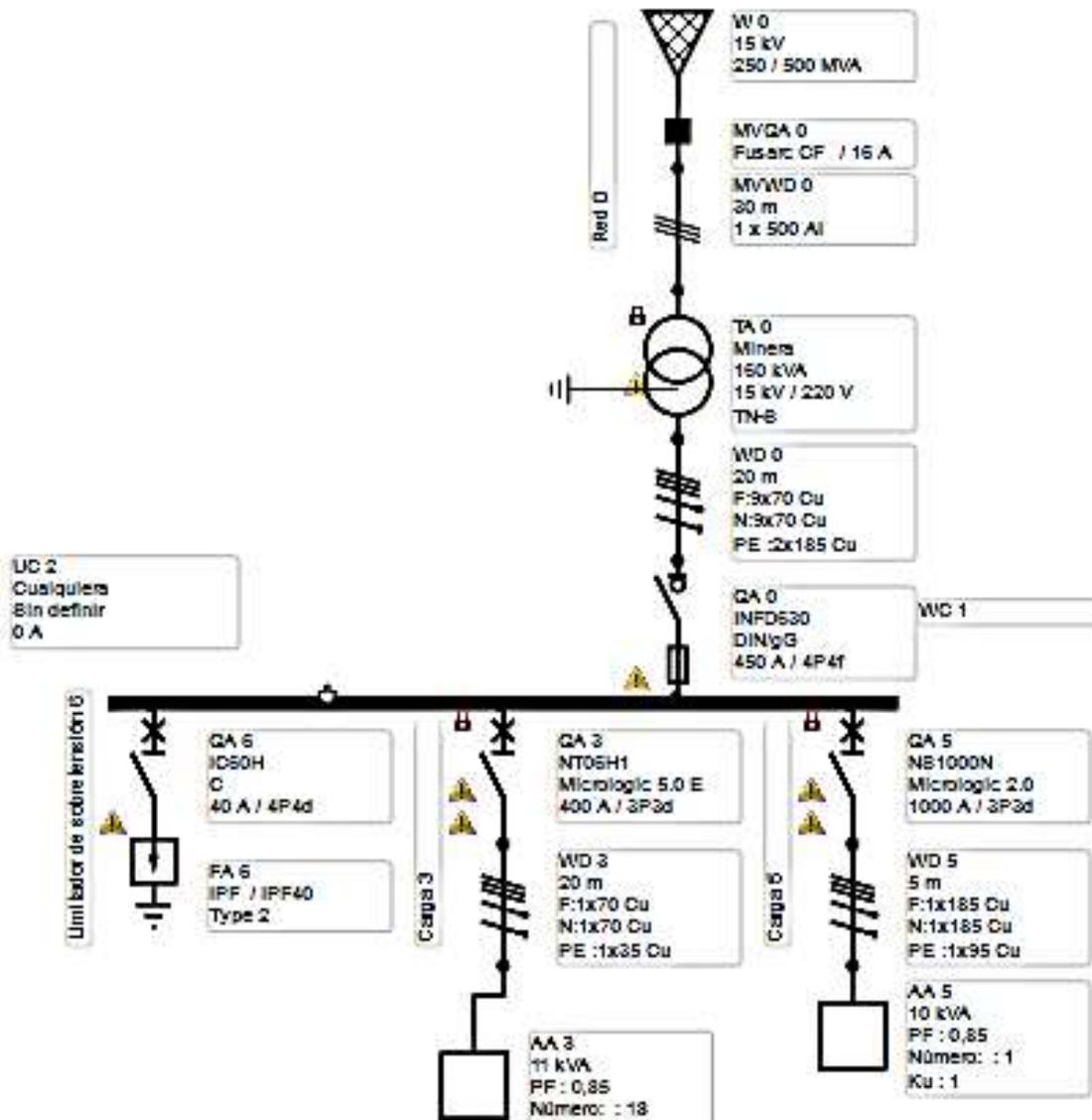


Figura 24 Diagrama Unifilar

Tabla 14 Protección de sobretensión calculados por ECODIAL

Protección	QA 6
Ib	NA
Distancia desde el origen	NA
Información de dimensionamiento	de tamaño por el sistema
Gama	Acti9 iC60
Designación	iC60H
Circuito nominal del interruptor	40 A
Poder de corte	30 kA
TNS Un polo poder de corte	NA
IT Uno de los polos Capacidad de ruptura	NA
Poder de corte reforzado	NA
Pole y protegido polo	4P4d
Designación de la unidad de viaje	C
Trip calificación unidad	40 A
Ajustes de retardo largos	
Ir	40 A
Tr	NA
Ajustes de retardo cortos	
corriente Isd	320 A
Tsd	NA
Disparo instantáneo	
Corriente Ii	OFF
Resultados discriminación	
Previo	Límite discriminación

Tabla 15 Informe protección aguas abajo del transformador calculada por ECODIAL

Protección		QA 3					
Ib		28,9 A					
Distancia desde el origen		NA					
Información de dimensionamiento		de tamaño por el sistema					
Gama		Masterpact NT					
Designación		NT06H1					
Circuito nominal del interruptor		630 A					
Poder de corte		42 kA					
TNS Un polo poder de corte		NA					
IT Uno de los polos Capacidad de ruptura		NA					
Poder de corte reforzado		NA					
Pole y protegido polo		3P3d					
Designación de la unidad de viaje		Micrologic 5.0 E					
Trip calificación unidad		400 A					
Ajustes de retardo largos							
Ir		200 (ajuste : 0,5) A					
Tr		0,7 s					
Ajustes de retardo cortos							
corriente Isd		2000 (ajuste : 10) A					
Tsd		0,08 s					
Disparo instantáneo							
Corriente Ii		6000 (ajuste : 15) A					
Resultados discriminación							
Previo		Límite discriminación					
Corrientes de cortocircuito							
	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	Ief	Ief2min
Modo de explotación Normal							
(kA)	8,17	7,08	6,67	4,61	3,72	3,24	0,00
Resumen para todos los modos de explotación							
(kA)	8,17	7,08	6,67	4,61	3,72	3,24	0,00

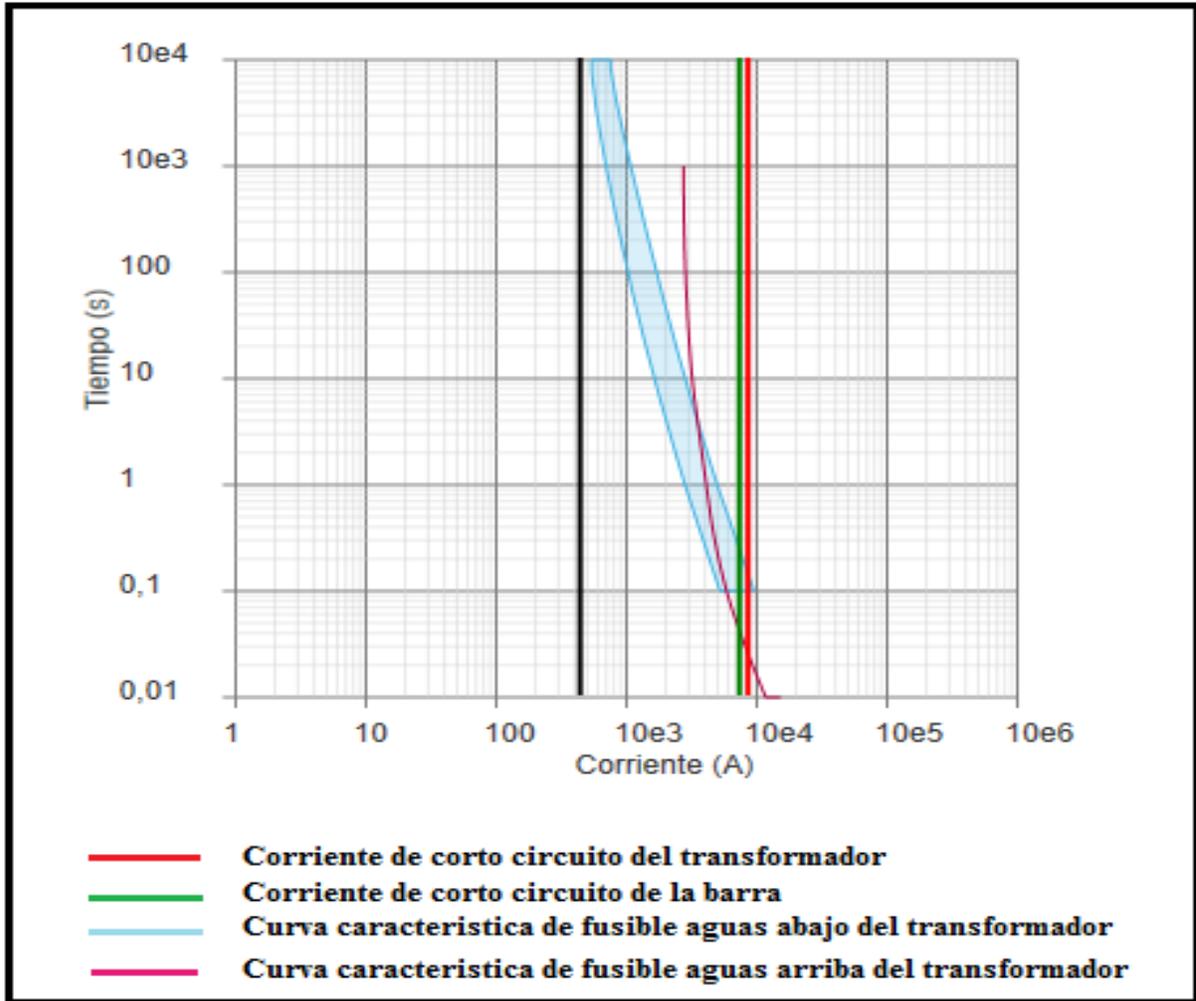


Figura 25 Coordinacion de protecciones aguas arriba y aguas abajo del transformador

Tabla 16 Características protección tipo totalizador en cada carga.

Protección		QA 5					
Ib		26,2 A					
Distancia desde el origen		NA					
Información de dimensionamiento		de tamaño por el sistema					
Gama		Compact NS630b-3200					
Designación		NS1000N					
Circuito nominal del interruptor		1000 A					
Poder de corte		50 kA					
TNS Un polo poder de corte		NA					
IT Uno de los polos Capacidad de ruptura		NA					
Poder de corte reforzado		NA					
Pole y protegido polo		3P3d					
Designación de la unidad de viaje		Micrologic 2.0					
Trip calificación unidad		1000 A					
Ajustes de retardo largos							
Ir		400 (ajuste : 0,4) A					
Tr		1 s					
Ajustes de retardo cortos							
corriente Isd		3200 (ajuste : 8) A					
Tsd		0,05 s					
Disparo instantáneo							
Corriente Ii		OFF					
Resultados discriminación							
Previo		Límite discriminación					
Corrientes de cortocircuito							
	I _{k3max}	I _{k2max}	I _{k1max}	I _{k2min}	I _{k1min}	I _{ef}	I _{ef2min}
Modo de explotación Normal							
(kA)	8,17	7,08	6,67	5,79	5,30	6,21	0,00
Resumen para todos los modos de explotación							
(kA)	8,17	7,08	6,67	5,79	5,30	6,21	0,00

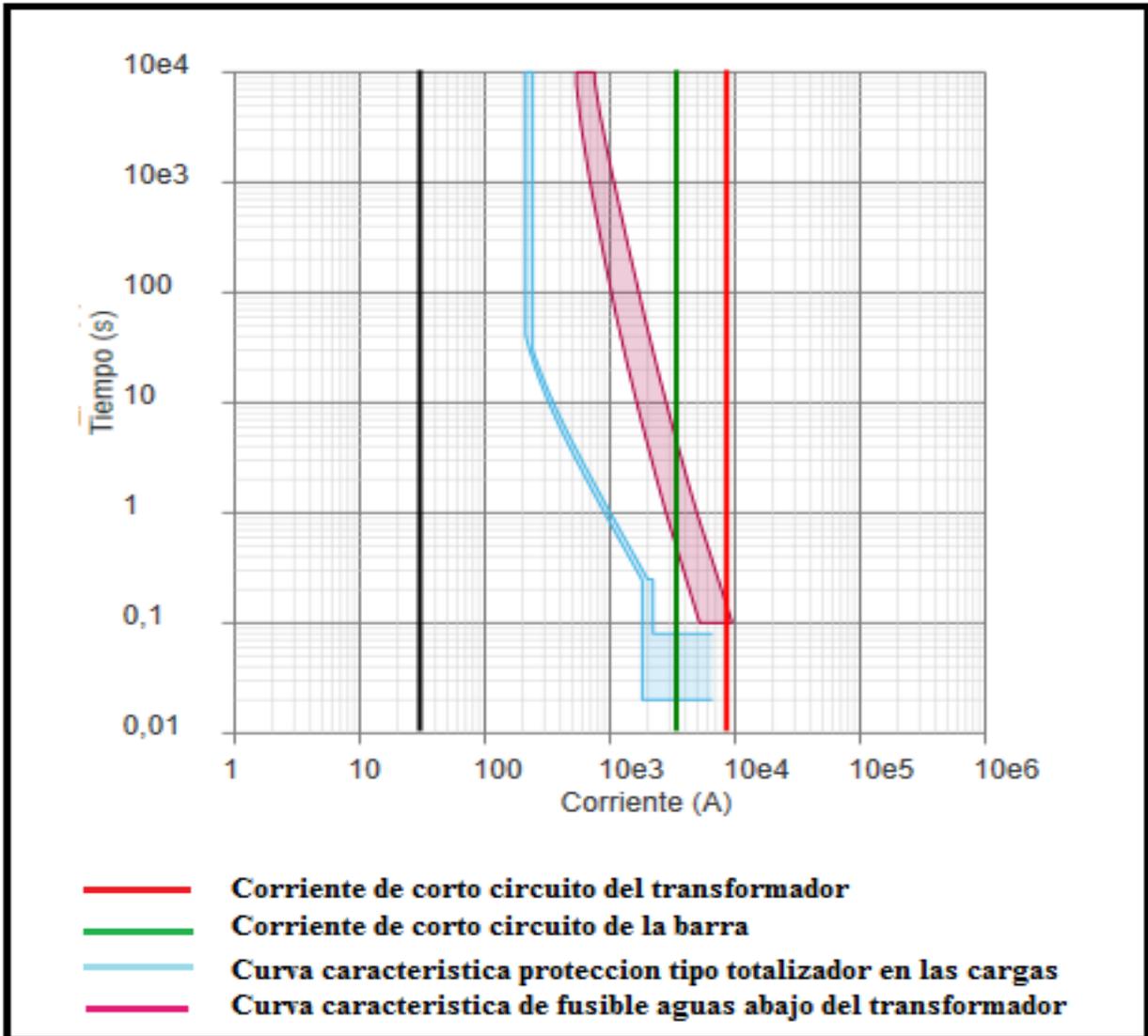


Figura 26 Coordinación de protecciones en la barra de distribución.

4.5 Evaluación de riesgos.

4.5.1 Cálculo del factor de riesgo

La revisión de la norma (NTC-2552), norma 4552-2 establece una metodología especial para la evaluación del riesgo de impactos, daños y pérdidas por descargas atmosféricas. La norma define ocho componentes del riesgo que sumadas producen el valor numérico total para el riesgo que se utiliza para tomar la decisión de adoptar medidas remediables para llevar el valor del riesgo al tope llamado Riesgo Tolerable. Este valor es 1×10^{-5} . Es decir, si el riesgo calculado supera este valor se deberán tomar medidas como colocación de

pararrayos, apantallamiento del edificio, equipotencialización construcción de malla de puesta a tierra, hasta llevar el valor del riesgo a su límite tolerable o menor al tope definido.

RIESGO TOLERABLE = 1.00 E-05

Se presenta a continuación la definición de las ocho (8) componentes del riesgo que deben evaluarse siguiendo la metodología de la norma NTC 4552 – 2

Tabla 17 Descripción de riesgos a evaluar

NOTACIÓN	DESCRIPCION DEL RIESGO A EVALUAR
R _A	Componente de riesgo (lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto por impacto en la estructura)
R _B	Componente de riesgo (Daños físicos por chispas dentro de la estructura por impacto en la estructura)
R _C	Componente de riesgo (Falta de sistemas internos causado por IER por impacto en la estructura)
R _M	Componente de riesgo (Falta de sistemas internos causado por IER por impacto próximo a la estructura)
R _U	Componente de riesgo (Lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto por impacto en el servicio)
R _V	Componente de riesgo (Daños físicos impacto en el servicio)
R _w	Componente de riesgo (Falta de sistemas internos causados por IER Impacto al servicio)
R _z	Componente de riesgo (Falta de sistema internos causado por IER Impactos próximos al servicio)

Para este estudio se aplicará la metodología y recomendaciones de la norma NTC 4552-2

La información de la estructura a evaluar es la siguiente:

Tabla 18 Características de la estructura

LOCALIZACION DEL PROYECTO EN ESTUDIO		
NOMBRE DEL PROYECTO	QUINTA ESENCIA	
DIRECCION	CALLE 10 #19SUR-51	
MUNICIPIO	MEDELLÍN	
CARACTERISITICAS DE LA EDIFICACION ESTUDIADA		
LARGO DE LA BODEGA (LARGO): L	10	m.
ANCHO DE LA BODEGA(ANCHO): W	15	m.
ALTURA DEL EDIFICIO EN MTS: H	6	m.
USO DE LA ESTRUCTURA O EDIFICIO	Residencial	
CONTORNO DE LA ESTRUCTURA	Rodeado de Objetos de = Altura	
ACOMETIDA	Subterránea	
SISTEMA DE PROTECCION CONTRA RAYOS	Ninguno	
LONGITUD ACOMETIDA L _c	20	m.
ALTURA DE LA ACOMETIDA EN EL APOYO (H _a)	1	m.
ALTURA POR DONDE INGRESA LA ACOMETIDA(H _b)	2	m.
ALTURA PROMEDIO DE LA ACOMETIDA (H _c)	1,5	m.
AISLAMIENTO DEL CABLE DE LA ACOMETIDA	1	kV
ESTRUCTURA: SEPARACIÓN ENTRE COLUMNAS (W)	4,5	m.
DISPOSTIVOS DPS COORDINADOS	NO	
RESISTIVIDAD	500	(Ω-m)

Tabla 19 Características de la estructura

DEFINICIÓN Y CÁLCULO DE ÁREAS EFECTIVAS Y ÁREAS DE INFLUENCIA DE LA EDIFICACIÓN		
AREA EFECTIVA DE DESCARGAS EN EL EDIFICIO AISLADO (A_d)	2.857	m ² .
AREA EFECTIVA DE LA ESTRUCTURA ADYACENTE ($A_{d/a}$)	2.286	m ² .
AREA EFECTIVA DESCARGA SOBRE LA ACOMETIDA EN M ² (A_i)	0	m ² .
AREA EFECTIVA DESCARGA CERCA LA ACOMETIDA EN M ² (A_i)	0	m ² .
AREA DE INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA EN M ² (A_m)	270.399	m ² .
DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA: DDT	3,79	

4.5.2 Evaluación de la estructura sin ningún tipo de protección contra rayos.

Tabla 20 Definición de parámetros inherentes a la estructura.

PARAMETROS Y FACTORES PARA LA EVALUACION DEL RIESGO		
Factor de localización de la edificación en estudio (C_d)	Rodeado objetos de altura o meno	0,5
Factor de corrección por transformador en la acometida (C_t)	No hay transform. en la acometida	1
Factor ambiental (C_e)	Semiurbano edific. Menores de 10m	0,5
Prob.de daños a seres vivos descargas sobre estructura (P_A)	Sin medidas de protección	1
Prob.de daños a la estruct. por descargas sobre estructura (P_B)	Estructura no protegida	1
Prob.de daños a sist. internos, descargas sobre estruct. (P_c)	No hay sistema coordinado de prote	1
Factor según características de cableado interno (K_{s3})	Cable sin pantalla, sin lazos en su ru	0,02
Probab.daños a sistemas internos por descargas cercanas (P_M)	<0,013	0,0001
Probab.daños a seres vivos descargas en acometida (P_U, P_W, P_V)	Apantallado con $5 < R_s < 20$ Ohm/km	1
Probab.daños a sistemas internos por descargas cercanas (P_z)	Apantallado con $5 < R_s < 20$ Ohm/km	0,15
Factor reductor de pérd. de vidas por caract.del terreno (r_a, r_u)	Agricultura o concreto	0,01
Pérdidas por lesiones seres vivos por T(Toque) y T(Contact) (L_f)	Todos los tipos, personas dentro de	0,0001
Pérdidas por daños físicos (L_i)	Hospitales, hoteles, edificios civiles	0,1
Pérdidas por fallas en sistemas internos ($L_o=L_c=L_w=L_M$)	Otros	0,0001
Factor reductor de pérdidas según medidas de protección (r_p)	Hay extintores, o alarmas, o hidrantes	1
Factor reductor de pérdidas por riesgo de fuego en edificio (r_f)	No hay riesgo de incendio	0
Fac. incremento de perdidas por condicion especiales peligrosas	Sin riesgo especial	1

Tabla 21 Definición y determinación del número de eventos peligrosos.

DEFINICION DEL EVENTO PELIGROSO	NOTACION	VALOR
Número de eventos peligrosos debido a impactos directos en la estructura	N_D	0,0054
Número promedio anual de descargas cerca a la estructura	N_M	0,5070
Número promedio anual de descargas sobre acometidas del servicio	N_L	0,0000
Numero promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes	N_{DA}	0,0043
Número promedio de descargas cercanas a las acometidas de servicio	N_i	0,0000

Tabla 22 Definición y determinación de la probabilidad de daño en cada evento peligroso.

DEFINICION DE LA PROBABILIDAD	NOTACION	VALOR
Probabilidad de lesiones a seres vivos por tensiones de toque y contacto producidas por descargas directas en la estructura	P _A	1,0000
Probabilidad de daños en la estructura por descargas directas	P _B	1,0000
Probabilidad de daños de sistemas internos por impacto directo en la estructura	P _C	1,0000
Probabilidad de daños en sistemas internos por impactos cercanos a la estructura.	P _M	0,0001
Probabilidad de lesiones a seres vivos por tensiones de toque o de paso por descargas sobre la acometida	P _U	1,0000
Probabilidad de daños físicos en la estructura debidos a descargas directas en las acometidas	P _V	1,0000
Probabilidad de daños de sistemas internos a causa de descargas directas en la estructura	P _W	1,0000
Probabilidad de daños de sistemas internos a causa de descargas cercanas a la acometida	P _Z	0,1500

Tabla 23 Definición y determinación de la cantidad de pérdidas por daños.

DEFINICION DE LA PROBABILIDAD	NOTACION	VALOR
Pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso o de contacto fuera de la estructura	L _A	0,000001
Pérdidas de vidas por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico	L _B	0,01
Pérdidas inaceptables del servicio por fallas de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura	L _C	0,0001
Pérdidas relacionadas a fallas de sistemas internos	L _M	0,0001
Pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso o contacto dentro de la estructura.	L _U	0,000001
Pérdidas de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometidas	L _V	0
Pérdidas relacionadas con la falla de sistemas internos	L _W	0,0001
Pérdida relacionada con falla en sistemas internos	L _Z	0,0001

4.5.3 Resultados de la evaluación de riesgo

Tabla 24 Resultado riesgo de pérdida de vida humana

R1 - RIESGO DE PERDIDA DE VIDA HUMANA				1,00E-05
Identificación del Riesgo X	Número de eventos NX	Probabilidad Px	Pérdida Consecuente Lx	Riesgo calculado
R _A	5,41E-03	1,00E+00	1,00E-06	3,49E-09
R _B	5,41E-03	1,00E+00	1,00E-02	5,41E-05
R _C	5,41E-03	1,00E+00	1,00E-04	
R _M	5,07E-01	1,00E-04	1,00E-04	
R _U	4,33E-03	1,00E+00	1,00E-06	4,33E-09
R _V	4,33E-03	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
R _W	4,33E-03	1,00E+00	1,00E-04	
R _Z	0,00E+00	1,50E-01	1,00E-04	
RIESGO TOTAL CALCULADO				3,24E-06

Comparación del riesgo Calculado con el riesgo Tolerable.

$$3.24 \text{ E-}05 < 1.0 \text{ E-}05$$

Tabla 25 Resultado riesgo de pérdida de servicio publico

R2 - RIESGO DE PERDIDA DEL SERVICIO PUBLICO				1,00E-03
Indentificacion del Riesgo X	Número de eventos NX	Probabili-dad Px	Pérdida Consecuente Lx	Riesgo calculado
R _A	3,49E-03	1,00E+00	1,00E-06	
R _B	3,49E-03	1,00E+00	6,25E-03	2,18E-05
R _C	3,49E-03	1,00E+00	1,00E-02	3,49E-05
R _M	1,36E-01	1,00E-04	1,00E-02	1,36E-07
R _U	2,79E-03	1,00E+00	1,00E-06	
R _V	2,79E-03	1,00E+00	2,50E-04	6,98E-07
R _W	2,79E-03	1,00E+00	1,00E-02	2,79E-05
R _Z	0,00E+00	1,50E-01	1,00E-02	0,00E+00
RIESGO TOTAL CALCULADO				8,55E-05

Comparación del riesgo calculado con el riesgo Tolerable.

$$8.55 \text{ E-}05 < 1.0 \text{ E-}03$$

Según el resultado se concluye que la magnitud del riesgo calculado es MENOR que la del riesgo tolerable, por tanto, no se requeriría implementar medidas de protección adicionales. Aunque se determine que no se requieran medidas adicionales en la evaluación de riesgo, es aconsejable que si las edificaciones cuentan con sistemas electrónicos sensibles de cualquier naturaleza, parámetro que no se evalúa en la evaluación de riesgo para el caso de edificaciones residenciales, se implemente un sistema interno de protección contra sobretensiones DPS; estos elementos estarían dirigidos a proteger dichos sistemas electrónicos sensibles en todos los flancos posibles (potencia, telecomunicaciones, aplicaciones de alta frecuencia).

De igual manera se hizo una evaluación de riesgos usando el software IEC risk en el cual también arrojó un resultado menor al tolerable ante eventos de descargas atmosféricas, por lo cual no se hace necesario en cálculo de un sistema de apantallamiento para proteger la estructura

Structure's Dimensions:		Conductive Service Lines:		Loss Categories:	
Length of structure (m)	30	Power Line:	Type of service to the structure: Buried cable	Category 1 - Loss of Human Life:	Special hazards to life: Low panic level
Width of structure (m)	15	Type of external cable: Screened	Presence of MV / LV transformer: Transformer	Life loss due to fire: Other structures	Life loss due to overvoltages: No safety critical systems
Height of roof plane (m)*	6	Other Overhead Services:	Number of conductive services: 0	Category 2 - Loss of Essential Services:	Services lost due to fire: No service exist
Height of highest roof protrusion (m)*	6	Type of external cable: Unscreened	Type of external cable: Unscreened	Services lost due to overvoltages: No service exist	
* Measured from the ground		Other Underground Services:	Number of conductive services: 1	Category 3 - Loss of Cultural Heritage:	Cultural heritage lost due to fire: No heritage value
Equivalent area (m ²)	2,025 m ²	Type of external cable: Unscreened	Type of external cable: Unscreened	Category 4 - Economic Loss:	Special economic hazards: No special hazards
Structure's Attributes:		Protection Measures:		Economic loss due to fire: Other structures	Economic loss due to overvoltage: Other structures
Risk of fire or physical damage:	None	LPS type:	No protection	Step - touch potential loss factor: No shock risk	Tolerable risk of economic loss: 1 in 1,000 yrs
Structure screening effectiveness:	Poor	Fire protection level:	Manual systems		
Internal wiring type:	Unscreened	Surge protection:	No protection		
Environmental Influences:					
Location relative to surroundings:	Similar in height				
Location density (service line density)	Suburban				
Number thunderdays:	140 days/year				
Equivalent annual flash density:	14.0 flashes/km ²				
View isokeraunic map:	View Map				
Calculated Risks:					
	Tolerable Risk (Rt)	Direct Strike Risk (Rd)	Indirect Strike Risk (Ri)	Calculated Risk (R)	
Loss of Human Life:	1,00E-05 =>	1,45E-00 +	5,47E-08 =	6,91E-00	
Loss of Essential Services:	1,00E-03 =>	0,00E+00 +	0,00E+00 =	0,00E+00	
Loss of Cultural Heritage:	1,00E-03 =>	0,00E+00 +	0,00E+00 =	0,00E+00	
Economic Loss:	1,00E-03 =>	1,45E-06 +	5,01E-04 =	5,03E-04	



The IEC lightning risk assessment calculator is intended to assist in the analysis of various criteria to determine the risk of loss due to lightning. It is not possible to cover each special design element that may render a structure more or less susceptible to lightning damage. In special cases, personal and economic factors may be very important and should be considered in addition to the assessment obtained by use of this tool. It is intended that this tool be used in conjunction with the written standard IEC62305-2.

[Calculations](#)

Figura 27 Evaluación de riesgos empleando IEC risk

5 PROPUESTA DE DISEÑO EN CONFIGURACION EN ANILLO

El cálculo del sistema de distribución en BT en configuración en anillo se realizó mediante el análisis propuesto en el apartado 3.2.6 en el cual se describe que las redes en este tipo de configuración pueden ser analizadas como si fueran líneas alimentadas por ambos extremos o bilateralmente.

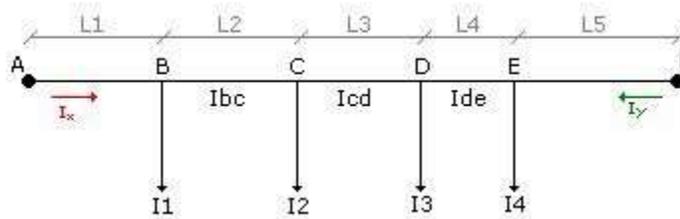


Figura 28 Líneas alimentadas bilateralmente

En este tipo de líneas aparece el punto de mínima tensión, que es aquel en donde la caída de tensión es máxima. Dicho punto puede considerarse como el centro de gravedad de la línea.

Para su cálculo:

$$I_y = \frac{\sum(L*I)}{L} \quad (20)$$

$$I_y = \sum(I) - \frac{\sum(L*I)}{L} = \sum(I) - I_y \quad (21)$$

Usando la ley de Nodos de Kirchhoff, se va calculando la corriente de cada tramo, restando la corriente que consume cada carga a la intensidad a I_x , hasta el primer resultado negativo. Esta intensidad negativa debe coincidir, tanto si la calculamos de izquierda a derecha como de derecha a izquierda. El punto donde aparece dicha intensidad es el punto de mínima tensión.

$$I_{bc} = I_x - I_1 \quad (22)$$

$$I_{cd} = I_{bc} - I_2 \quad (23)$$

$$I_{de} = I_{cd} - I_3 \quad (24)$$

Se sustituye el valor de la última intensidad empleada en los cálculos antes de llegar a un valor negativo por el valor obtenido. se divide de la red por el punto de mínima tensión

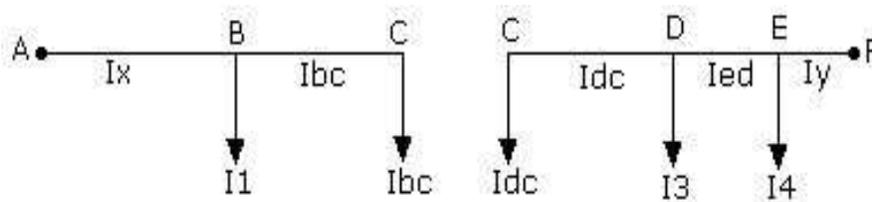


Figura 29 Líneas alimentadas bilateralmente

Una vez seccionada la línea en dos ramas, calculamos cualquiera de las dos por uno de los métodos anteriores. El resultado será válido para las dos ramas.

Para nuestro caso particular se configuración en anillo para alimentar la urbanización quinta esencia el cual se describe en la ilustración 29.

5.1 Planteamiento del anillo de distribución

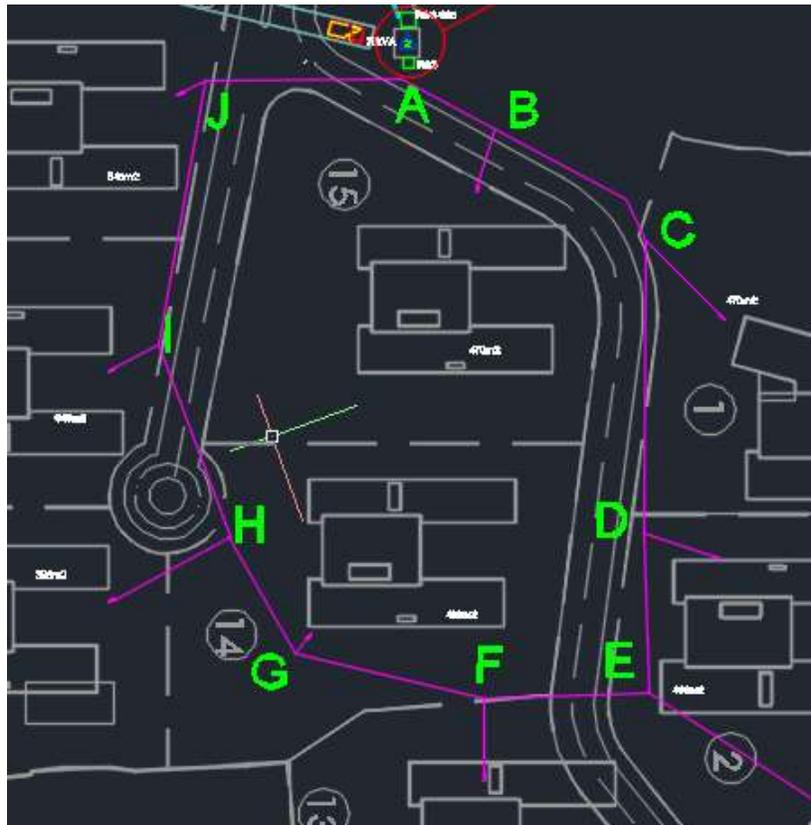


Figura 30 Anillo planteado para la re3d de distribución

Y se procede al cálculo de las intensidades hasta encontrar la intensidad negativa la cual nos indica el punto con mayor caída de tensión que nos permitirá dividir el anillo y analizarlo de forma separada.

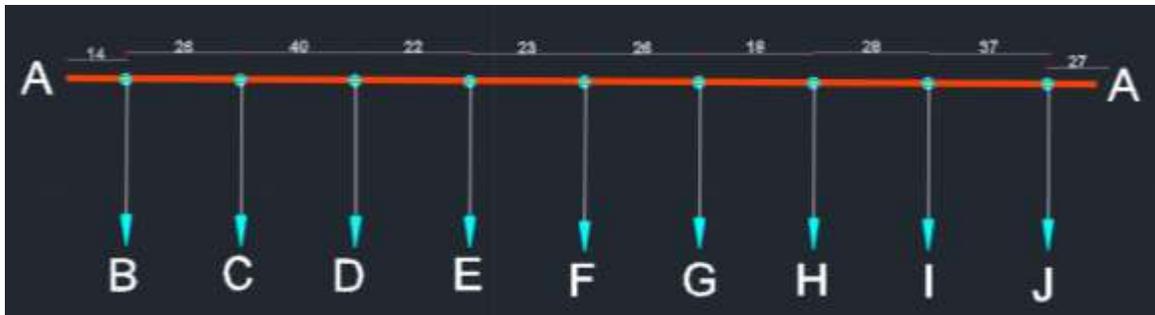


Figura 31 equivalente alimentado bilateralmente

Tabla 26 Corriente A_B

Corriente B-C	$(I_A-B)-(I_B)$	74,54
Corriente C-D	$(I_B-C)-(I_C)$	55,94
Corriente D-E	$(I_C-D)-(I_D)$	37,35
Corriente E-F	$(I_D-E)-(I_E)$	18,75
Corriente F-G	$(I_E-F)-(I_F)$	0,15
Corriente G-H	$(I_F-G)-(I_G)$	-18,45
Corriente H-I	$(I_G-H)-(I_H)$	-37,04
Corriente I-J	$(I_H-I)-(I_I)$	-55,64

Tabla 27 Corriente A_B

Corriente J-I	$(I_A-J)-(I_J)$	69,78
Corriente I-H	$(I_J-I)-(I_I)$	51,18
Corriente H-G	$(I_I-H)-(I_H)$	32,59
Corriente G-F	$(I_H-G)-(I_G)$	13,99
Corriente F-E	$(I_G-F)-(I_F)$	-4,61
Corriente E-D	$(I_F-E)-(I_E)$	-23,21
Corriente D-C	$(I_E-D)-(I_D)$	-41,80
Corriente C-B	$(I_D-C)-(I_C)$	-60,40

Al hacer el análisis de las corrientes desde cualquier extremo de la línea, se puede notar que el punto con mayor caída de voltaje se encuentra en el nodo **F** ya que en los dos casos mostrados en las tablas 26 y 27 en este se encontraba una intensidad negativa lo cual indica según la teoría planteada que este es el punto que nos servirá como referencia para dividir la línea y continuar con el análisis

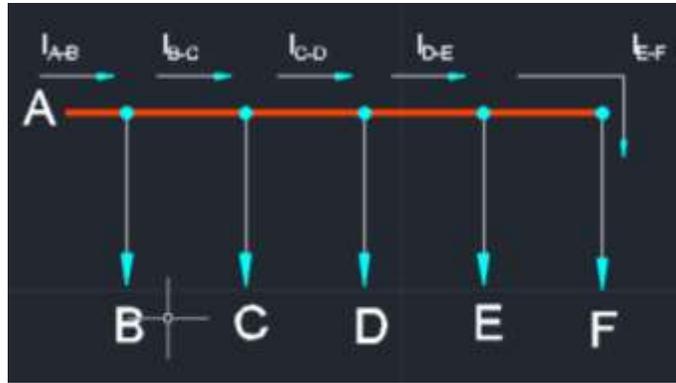


Figura 32 Equivalente 1 de la línea alimentada bilateralmente

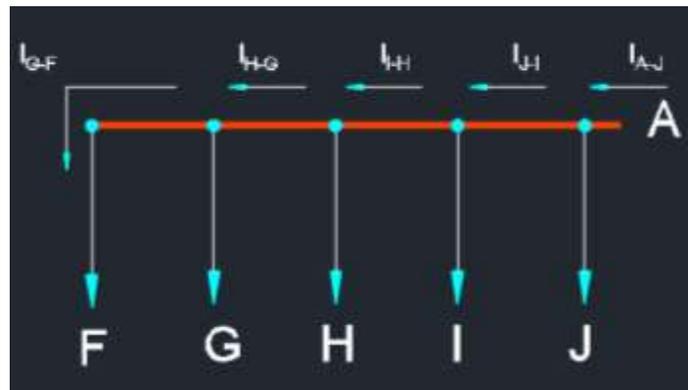


Figura 33 Equivalente 2 de la línea alimentada bilateralmente

5.2 Cálculo de regulación para selección de conductores en anillo

Para realizar este cálculo tomamos como referencia los equivalentes de las ilustraciones 31 y 32, calculamos los momentos en cada tramo de los equivalentes y la sumatoria de estos para hallar corrientes de cada alimentador equivalente como se describió en la sección 5.

Teniendo momento y corriente de cada tramo podemos realizar el cálculo de regulación empleando la ecuación (19) aplicada a cada tramo.

Es clave aclarar que los resultados son aproximados y este método solo se podría usar si la sección del conductor es constante

Tabla 28 Cálculo de regulación tramo equivalente 1 A-F

Tramo	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	I-J
Longitud (m)	14	26	40	22	23	26	18	28	37
S de pto	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Corriente (A)	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60
Momento de tramo (M)	260,36	743,89	1487,79	1896,93	2324,67	2808,20	3142,95	3663,68	4351,78
ΣM	20680,24								
Corriente A-J	88,38								
Calibre	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
KG	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404
%R Parcial	0,45	0,67	0,77	0,28	0,15	0,00	-0,18	-0,55	-1,09
%rR Total	0,45	1,12	1,89	2,17	2,32	2,32			

Tabla 29 Cálculo de regulación tramo equivalente 2 A-F

Tramo	A-J	J-I	I-H	H-G	G-F	F-E	E-D	D-C	C-B
Longitud (m)	27	37	28	18	26	23	22	40	26
S de pto	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Corriente (A)	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60	18,60
Momento de tramo (M)	502,13	1190,23	1710,96	2045,71	2529,24	2956,98	3366,12	4110,01	4593,54
ΣM	23004,91								
Corriente A-B	93,14								
Calibre	1/0	1/0	4/0	4/0	4/0	4/0	4/0	4/0	4/0
KG	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404	41,404
%R Parcial	0,82	0,89	0,49	0,20	0,13	-0,04	-0,18	-0,58	-0,83
%rR Total	0,82	1,71	2,20	2,41	2,53				

6 ESTUDIO FINANCIERO DE LOS DISEÑOS PROPUESTOS

Se realizó el análisis financiero mediante la cotización directa de los materiales de construcción de la obra en cada uno de los métodos planteados, para ello se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad de materiales
- Valor unitario
- Costo de materiales
- Cantidad de mano de obra
- Cantidad de mano de obra
- Transporte

6.1 Cotización red radial

Tabla 30 Cotización para configuración radial

 in-g ingeniería e innovación Quinta Esencia Medellín Cantidades de obra y presupuesto Noviembre de 2016						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR UNIT	VR TOTAL	APU
A	REDES ELECTRICAS EXTERIORES					
	Acometida primaria					
1	SUMINISTRO Herraje Metalco 90x115 cm, para Caja doble tapa de inspeccion de acometida primaria subterránea según normas operador de red. Incluye marcacion de riesgo eléctrico en placa de metalca.	und	2	\$528,252	\$1,056,505	Herraje 90x115
2	SUMINISTRO de herraje para caja 60x60 cm para caja de distribución eléctrica. Incluye marcacion de riesgo eléctrico en placa de metalca.	und	12	\$183,492	\$2,201,899	Herraje 60x60
3	S.E.I. Tubería PVC DB-60 de 4", por canalización subterránea. Incluye accesorios PVC y todo lo necesario para su instalación.	ml	250	\$27,091	\$6,772,756	T-PVC4
4	S.E.I. Acometida Primaria en cables monopolares XLPE,15 kV, 133% aislamiento 3No 1/0 + 1No 2 cable Cu Desnudo.	ml	250	\$187,358	\$46,839,491	3No.1/0 XLPE+1No.2-Desnudo
5	S.E.I. Terminales premoldeados para uso exterior 15 kV para cable primario 1/0 Cu XLPE 100% aislamiento, 15 KV de 3M o equivalente. Juego x 3 unidades	und	2	\$730,529	\$1,461,058	Terminal Premoldeada Ext.
6	S.E.I. Terminales tipo Codo 15 kV para cable primario 1/0 Cu XLPE 100% aislamiento, 15 KV de 3M o equivalente.	und	6	\$340,065	\$2,040,392	Terminal Premoldeada Codo
E	REDES ELECTRICAS APARTAMENTOS					
	S.E.I de acometida eléctrica en 3No 1/0 + 1No 1/0 + 1No 6. Incluye: Accesorios, elementos de fijación, terminales y demás elementos para su correcta instalación.	ml	280	\$278,609	\$78,010,384	3No.1/0+1No.1/0+1No.6 -IMC2-1/
	S.E.I de acometida eléctrica en 3No 4/0 + 1No 2/0 + 1No 1/0. Incluye: Accesorios, elementos de fijación, terminales y demás elementos para su correcta instalación.	ml	100	\$330,203	\$33,020,272	3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2
	S.E.I. Tubería PVC 2". Incluye accesorios PVC y demas elementos para su correcta instalación	ml	400	\$2,405	\$962,009	T-PVC1/2

Tabla 31 Cotizacion para configuración radial (continuación)

COSTO DIRECTO OBRA ELÉCTRICA		222,591,134
ADMINISTRACION	5.0%	11,129,557
IMPREVISTOS	2.0%	4,451,823
UTILIDADES	5.0%	11,129,557
SUBTOTAL OBRA ELECTRICA		249,302,070
IVA SOBRE LA UTILIDAD	16.0%	1,780,729
TOTAL OBRA ELÉCTRICA		251,082,800

6.2 Cotización red anillo

Tabla 32 Cotizacion para configuración anillo

		in-g ingeniería e innovación Quinta Esencia Medellín Cantidades de obra y presupuesto Noviembre de 2016				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR UNIT	VR TOTAL	APU
A	REDES ELECTRICAS EXTERIORES					
	Acometida primaria					
1	SUMINISTRO Herraje Metalico 90x115 cm, para Caja doble tapa de inspeccion de acometida primaria subterránea según normas operador de red. Incluye marcacion de riesgo eléctrico en placa de metalica.	und	2	\$528,252	\$1,056,505	Herraje 90x115
2	SUMINISTRO de herraje para caja 60x60 cm para caja de distribución eléctrica. Incluye marcacion de riesgo eléctrico en placa de metalica.	und	8	\$183,492	\$1,467,933	Herraje 60x60
3	S.E.I. Tubería PVC DB-60 de 4", por canalización subterránea. Incluye accesorios PVC y todo lo necesario para su instalación.	ml	250	\$27,091	\$6,772,756	T-PVC4
4	S.E.I. Acometida Primaria en cables monopoles XLPE,15 kV, 133% aislamiento 3No 1/0 + 1No 2 cable Cu Desnudo.	ml	250	\$187,358	\$46,839,491	3No.1/0 XLPE+1No.2-Desnudo
5	S.E.I. Terminales premoldeados para uso exterior 15 kV para cable primario 1/0 Cu XLPE 100% aislamiento, 15 KV de 3M o equivalente. Juego x 3 unidades	und	2	\$730,529	\$1,461,058	Terminal Premoldeada Ext.
6	S.E.I. Terminales tipo Codo 15 kV para cable primario 1/0 Cu XLPE 100% aislamiento, 15 KV de 3M o equivalente.	und	6	\$340,065	\$2,040,392	Terminal Premoldeada Codo
E	REDES ELECTRICAS APARTAMENTOS					
	S.E.I de acometida eléctrica en 3No 1/0 + 1No 1/0 + 1No 6. Incluye: Accesorios, elementos de fijación, terminales y demás elementos para su correcta instalación.	ml	250	\$278,609	\$69,652,129	3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/
	S.E.I. Tubería PVC 2". Incluye accesorios PVC y demas elementos para su correcta instalación	ml	250	\$2,405	\$601,256	T-PVC1/2
COSTO DIRECTO OBRA ELÉCTRICA						180,117,887
ADMINISTRACION				5.0%		9,005,894
IMPREVISTOS				2.0%		3,602,358
UTILIDADES				5.0%		9,005,894
SUBTOTAL OBRA ELECTRICA						201,732,034
IVA SOBRE LA UTILIDAD				16.0%		1,440,943
TOTAL OBRA ELÉCTRICA						203,172,977

Tabla 33 Descripción de materiales cotizados para cada configuración.

Código APU	Descripción Componentes	Unidad de	Material	Valor unitario	Costo Material	Cantidad de M	M de O	Cantidad Transc	Transporte	Cantidad Herram
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	CABLE THHN/THWN # 1/0	m	4.000	\$12,605	\$73,841	0.60	\$32,121	1.00	\$2,141	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	CABLE THHN/THWN # 6	m	1.000	\$3,224	\$4,722	0.60	\$2,054	1.00	\$137	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	TERMINAL PONCHAR # 1/0 (125A)	Un	0.267	\$2,900	\$1,133	0.60	\$493	1.00	\$33	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	TERMINAL PONCHAR # 6 (50A)	Un	0.067	\$928	\$91	0.60	\$39	1.00	\$3	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	CORREA PLASTICA 20 CM NEGRA	Un	1.000	\$46	\$68	0.60	\$30	1.00	\$2	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	PERFIL SENC. RAN. C-14x3 MT 7/8"	Un	0.050	\$72,298	\$5,294	0.60	\$2,303	1.00	\$154	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	ESPARRAGO GALV. DE 3/8x1 MT	Un	0.500	\$3,922	\$2,872	0.60	\$1,249	1.00	\$83	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	Anclaje Hembra de 3/8" RL	Un	2.000	\$798	\$2,338	0.60	\$1,017	1.00	\$68	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	ARANDELA PLANA GALV. DE 3/8"	Un	4.000	\$136	\$799	0.60	\$348	1.00	\$23	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	TUERCA GALVANIZADA DE 3/8"	Un	4.000	\$124	\$728	0.60	\$317	1.00	\$21	1.00
3No.1/0+1No.1/0+1No.6 - IMC2-1/2"	TUBO IMC 3"x3 MTS.	Un	0.340	\$190,240	\$94,726	0.60	\$41,206	1.00	\$2,747	1.00
Código APU	Descripción Componentes	Unidad de	Material	Valor unitario	Costo Material	Cantidad de M	M de O	Cantidad Transc	Transporte	Cantidad Herram
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	CABLE THHN/THWN # 4/0	m	3.000	\$24,682	\$108,438	1.00	\$78,618	1.00	\$3,145	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	CABLE THHN/THWN # 2/0	m	1.000	\$15,752	\$23,069	1.00	\$16,725	1.00	\$669	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	CABLE THHN/THWN # 1/0	m	1.000	\$12,605	\$18,460	1.00	\$13,384	1.00	\$535	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	TERMINAL PONCHAR # 4/0 (225A)	Un	0.600	\$5,800	\$5,096	1.00	\$3,695	1.00	\$148	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	TERMINAL PONCHAR # 2/0 (150A)	Un	0.100	\$3,596	\$527	1.00	\$382	1.00	\$15	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	TERMINAL PONCHAR # 1/0 (125A)	Un	0.100	\$2,900	\$425	1.00	\$308	1.00	\$12	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	TUBO EMT 2"x3 MTS.	Un	0.340	\$37,120	\$18,483	1.00	\$13,400	1.00	\$536	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	UNION EMT DE 2"	Un	0.670	\$4,524	\$4,439	1.00	\$3,218	1.00	\$129	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	ENTRADA CAJA EMT DE 2"	Un	0.100	\$5,384	\$788	1.00	\$572	1.00	\$23	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	ESPARRAGO GALV. DE 3/8x1 MT	Un	0.201	\$3,922	\$1,154	1.00	\$837	1.00	\$33	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	Anclaje Hembra de 3/8" RL	Un	0.667	\$798	\$779	1.00	\$565	1.00	\$23	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	Soporte Tipo Horquilla de 2"	Un	0.667	\$3,248	\$3,171	1.00	\$2,299	1.00	\$92	1.00
3No.4/0+1No.2/0+1No.1/0 - EMT2"	TUERCA GALVANIZADA DE 3/8"	Un	2.000	\$124	\$364	1.00	\$264	1.00	\$11	1.00

Costo de obra:

- Administración 5%:
 - ❖ Trámites ante operador de red
 - ❖ Cotización de materiales certificados
 - ❖ Tramite de certificación RETIE
 - ❖ Diseños de redes y actualizaciones requeridas
- Imprevistos 2%:
 - ❖ Demoras en entregas de materiales
 - ❖ Lesiones de operarios en obra
 - ❖ Daño de materiales y/o herramientas
 - ❖ Pérdida de recursos físicos y/o humanos
- Utilidades 5%:
 - ❖ Pago por horas y/o actividad a operarios
 - ❖ Pago a administrativos por tramites

Tabla 34 Porcentajes aplicados a cada material

% Holgura Variación Precios	% Administración y Pólizas	% Administración Gabinetes	Mano de Obra	Transporte	Herramienta
3%	25.5%	10%	50%	2%	2%

7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA CONFIGURACIÓN PROPUESTA

	Ventajas	Desventajas
Configuración radial	<ul style="list-style-type: none"> • Esta configuración presenta menos inconvenientes al momento de su construcción • La coordinación de protecciones se hace mucho mas fácil 	<ul style="list-style-type: none"> • En su tramo final la línea presenta mayor caída de tensión • Los conductores que cumplen la normativa son de calibre mas grande
Configuración en anillo	<ul style="list-style-type: none"> • Al ser el punto de partida y final el mismo, la caída de tensión presente es mínima • Las cargas al estar alimentadas por ambos extremos, hay mayor confiabilidad ante la presencia de una falla 	<ul style="list-style-type: none"> • Su construcción se hace mas complicada por tratarse de un camino mucho mas extenso • Esta configuración no se encuentra totalmente avalada por el operador de red para un diseño de redes en BT.

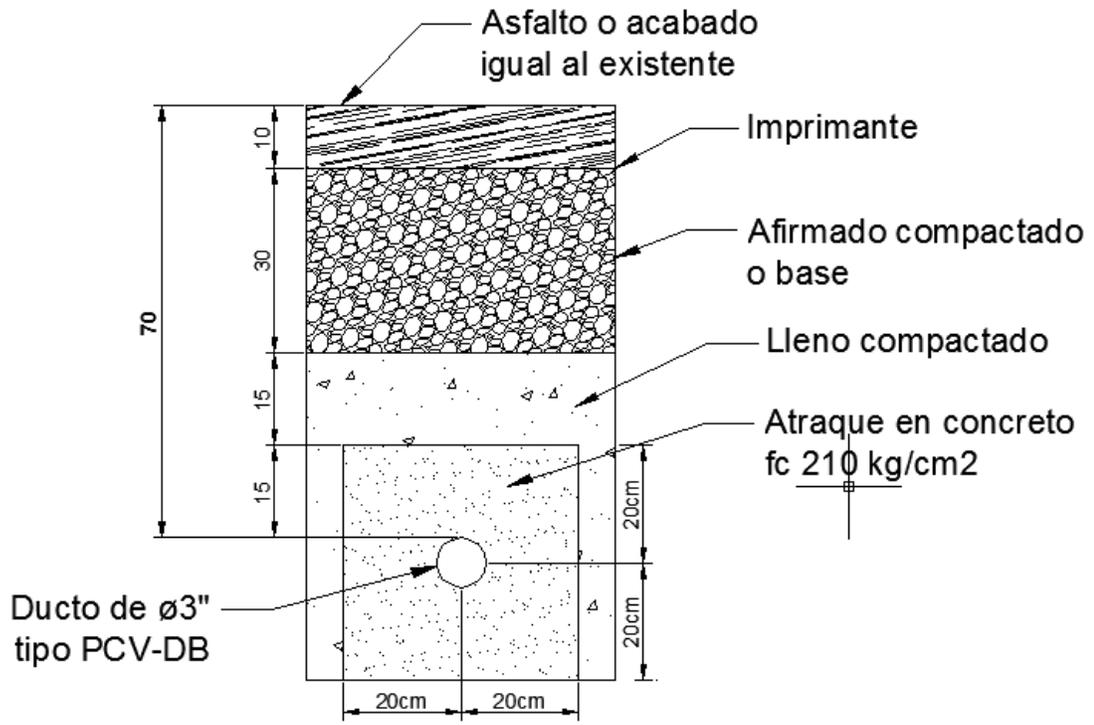


Figura 34 Detalle cruce de vía sobre pavimento

8 CONCLUSIONES

- Según el operador de red en la norma (RA3-007) la construcción de la red en configuración anillo si es viable para las redes de MT, mientras que este tipo de configuración para las redes de BT no se encuentra aun avalada al poder presentar inconvenientes al momento de la certificación por parte del RETE (Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas).
- Tal como se esperaba la regulación en la configuración en anillo disminuyo en comparación a la que se presenta en un diseño de tipo radial, esto permitió que los calibres de los conductores se redujeran y por ende reducir costos en la construcción.
- El esquema de coordinación de protecciones para la configuración en anillo no se ha podido realizar hasta el momento debido a que la alimentación por ambos extremos dificulta este proceso.
- Concluimos que al hacer el cálculo de la regulación para la red radial haciendo uso de los equivalentes alimentados bilateralmente no se llegó a los niveles de regulación que se describía en la teoría ya que esta mencionaba que la regulación sería prácticamente nula
- La dificultad que se encontró al hacer la coordinación de protecciones para la red en anillo es que al estar alimentada en ambos extremos un extremo siempre proporcionara alimentación a la carga así que los interruptores de este extremo no actuarían al no detectar una falla, una opción para este análisis seria los interruptores de tipo diferencial, pero dado que estos no están configurados para sistemas de BT no se pueden emplear para este caso propio

9 BIBLIOGRAFÍA

- Balabanian, N. (1993). Teoría de redes eléctricas . En N. B.-T. Bickart, *Teoría de redes eléctricas* (págs. 109-134). Barcelona : Reverte ediciones .
- Castaño, S. R. (2004). *Redes de distribución de energía*. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad nacional de Colombia sede manizales.
- Castaño, S. R. (2004). Redes de Distribución de energía. En S. R. Castañero, *Redes de Distribución de energía* (págs. 514-517). Manizales : Centro de Publicaciones Universidad nacional de Colombia sede manizales .
- EPM. (05 de Mayo de 2005). RA7-060. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Leonardo, G. S. (2011). *Regulación de Tensión y Frecuencia en las Redes Eléctricas*. LAP Lambert Acad. Publicaciones .
- Montecelos, T. (2014). Desarrollo de redes eléctricas y centros de transformación. En T. Montecelos, *Desarrollo de redes eléctricas y centros de transformación* (págs. 76-91). Madrid: ediciones paraninfo .
- Mujal Rosas, R. M. (2013). *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. Barcelona : Oficina de publicaciones académicas digitales de la UPC.
- NTC-2050. (25 de Noviembre de 1998). CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- NTC-2552. (24 de Diciembre de 2008). PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS). Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- RA8-009. (07 de Marzo de 2012). ZONAS DE DEMANDA SECTOR RESIDENCIAL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ . Medellín , Antioquia, Colombia .