



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**GUÍA DE MEMORIAS DE CÁLCULO ELÉCTRICO PARA
INSTALACIONES DE USO FINAL EN BAJA TENSIÓN**

JUAN DAVID PANIAGUA QUINTERO

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Ingeniería Eléctrica
Medellín, Colombia
2020





GUÍA DE MEMORIAS DE CÁLCULO ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES DE USO FINAL EN BAJA TENSIÓN

Juan David Paniagua Quintero

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al
título de:

Ingeniero electricista

Asesores:

Nelson de Jesús Londoño Ospina, Docente Universitario

Jorge Alberto Velásquez Ortiz, Ingeniero electricista

Línea de Investigación:
Instalaciones eléctricas de uso final

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería, Departamento de ingeniería eléctrica.
Medellín, Colombia
2020.

GUIA DE MEMORIAS DE CÁLCULO ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES DE USO FINAL.

Resumen

En el siguiente informe se realizó una guía con el objetivo de fomentar la manera adecuada de elaboración de unas memorias de cálculo eléctrico para instalaciones de uso final en baja tensión, en estas se tiene como pilar de desarrollo la descripción y ejemplo de cálculo de cada uno de los requerimientos generales de las instalaciones eléctricas, expuestas en el anexo general del RETIE en su artículo 10, siempre y cuando el literal aplique para instalaciones de este tipo.

Como primer paso en el proyecto se realizó un recuento de los proyectos en los que ha participado la empresa IENEL SAS como diseñador y se recopiló una serie de memorias de cálculo eléctrico, a las cuales se les realizó un análisis detallado, en estas se identificó que en algunos casos por falta de claridad y por motivos de premura y falta de ilustración, algunos de los requerimientos exigidos por el RETIE, se desarrollaban tomando como referencias memorias de algunos proyectos desarrollados en el pasado, lo que llevaba el diseño a incurrir en unas leves imprecisiones que podían ser mejoradas.

Otra necesidad encontrada fue que, al momento de ingreso de un nuevo integrante al equipo de diseño de la empresa, hacía falta un documento guía que permita que una persona con poca o ninguna experiencia en proceso de diseños eléctricos, pudiera obtener la suficiente ilustración de cada uno de los ítems requeridos por el RETIE para una instalación eléctrica de diseño detallado, que le permita al interesado realizar o desarrollar cada aspecto de cálculo de manera acertada, eficiente, adecuada y precisa.

Luego de identificar las necesidades de la empresa en cuanto a memorias de cálculo, se seleccionaron, desde los proyectos ya antes desarrollados, los cálculos que fueron ejecutados de manera apropiada y se investigó acerca de nuevos métodos y mecanismos de cálculo para aquellos ítems de las memorias en las cuales se encontraron aspectos a mejorar, luego de la selección de información se introdujo toda esta información en un documento, en donde cada uno de los ítems consta de una breve descripción de lo que trata el requerimiento, el objetivo por el cual se lleva a cabo el cálculo en cuestión, se describe las situaciones en las que aplica, dejando claro si es necesario o no en instalaciones eléctricas de uso final en baja tensión; por último se lleva a cabo el desarrollo del cálculo en estudio dejando en claro las ecuaciones matemáticas en las que se basa y dejando algunas notas, en caso de ser necesario una consideración o hacer precisión de algún aspecto en específico.

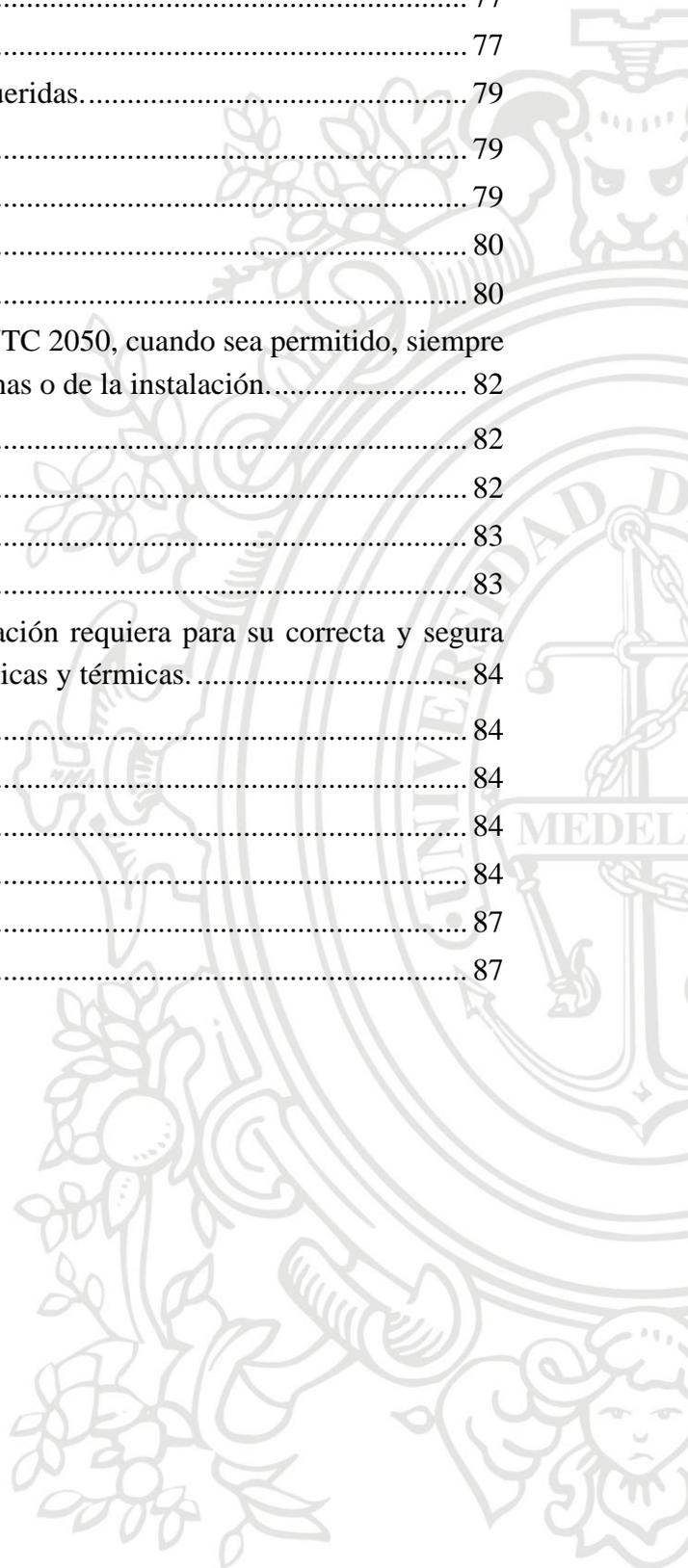
CONTENIDO

Introducción	11
1 Objetivos	11
2 Marco Teórico	11
3 Metodología	15
4 Resultados y análisis	15
4.1 Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.....	16
4.1.1 Descripción:	16
4.1.2 Objetivo.....	17
4.1.3 ¿Cuándo aplica?	17
4.1.4 Desarrollo.....	17
4.2 Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.....	22
4.2.1 Descripción:	23
4.2.2 Objetivo.....	23
4.2.3 ¿Cuándo aplica?	23
4.2.4 Desarrollo.....	23
4.3 Análisis de cortocircuito y falla a tierra.....	25
4.3.1 Descripción.....	25
4.3.2 Objetivo.....	26
4.3.3 ¿Cuándo Aplica?	26
4.3.4 Desarrollo.....	26
4.4 Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.....	31
4.4.1 Descripción.....	31
4.4.2 Objetivo.....	31
4.4.3 ¿Cuándo Aplica?	32
4.4.4 Desarrollo.....	32
4.5 Análisis de riesgo de eléctrico y medidas para mitigarlos.....	37
4.5.1 Descripción.....	37
4.5.2 Objetivo.....	38
4.5.3 ¿Cuándo Aplica?	38
4.5.4 Desarrollo.....	38
4.6 Análisis de nivel de tensión requerido.....	47
4.6.1 Descripción.....	47
4.6.2 Objetivo.....	47
4.6.3 ¿Cuándo Aplica?	47

4.6.4	Desarrollo.....	47
4.7	Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se supere los niveles de exposición definidos en la tabla 14.1.....	48
4.7.1	Descripción.....	48
4.7.2	Objetivo.....	48
4.7.3	¿Cuándo Aplica?	48
4.8	Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.	49
4.8.1	Descripción.....	49
4.8.2	Objetivo.....	49
4.8.3	¿Cuándo Aplica?	49
4.8.4	Desarrollo.....	49
4.9	Cálculo del sistema de puesta a tierra.....	50
4.9.1	Descripción.....	50
4.9.2	Objetivo.....	51
4.9.3	¿Cuándo Aplica?	51
4.9.4	Desarrollo.....	51
4.10	Calculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de perdidas, las cargas resultantes y los costos de energía.	55
4.10.1	Descripción.....	55
4.10.2	Objetivo.....	56
4.10.3	¿Cuándo Aplica?	56
4.11	Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma iec 60909, ieee 242, capítulo 9 o equivalente.	56
4.11.1	Descripción.....	56
4.11.2	Objetivo.....	56
4.11.3	¿Cuándo Aplica?	56
4.11.4	Desarrollo.....	57
4.12	Calculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.	57
4.12.1	Descripción.....	57
4.12.2	Objetivo.....	58
4.12.3	¿Cuándo Aplica?	58
4.13	Calculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes, en baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según iec 60947-2 anexo a.	58

4.13.1	Descripción.....	58
4.13.2	Objetivo.....	58
4.13.3	¿Cuándo Aplica?	58
4.13.4	Desarrollo.....	59
4.14	Cálculo de canalizaciones y volumen de encerramientos.....	62
4.14.1	Descripción.....	62
4.14.2	Objetivo.....	62
4.14.3	¿Cuándo Aplica?	62
4.14.4	Desarrollo.....	62
4.15	Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.....	63
4.15.1	Descripción.....	64
4.15.2	Objetivo.....	64
4.15.3	¿Cuándo Aplica?	64
4.15.4	Desarrollo.....	64
4.16	Cálculos de regulación.....	65
4.16.1	Descripción.....	65
4.16.2	Objetivo.....	66
4.16.3	¿Cuándo Aplica?	66
4.16.4	Desarrollo.....	66
4.17	Clasificación de áreas.....	68
4.17.1	Descripción.....	68
4.17.2	Objetivo.....	68
4.17.3	¿Cuándo Aplica?	69
4.18	Elaboración de diagramas unifilares.....	69
4.18.1	Descripción.....	69
4.18.2	Objetivo.....	69
4.18.3	¿Cuándo Aplica?	69
4.18.4	Desarrollo.....	69
4.19	Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.....	73
4.19.1	Descripción.....	73
4.19.2	Objetivo.....	74
4.19.3	¿Cuándo Aplica?	74
4.19.4	Desarrollo.....	74
4.20	Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.....	77

4.20.1	Descripción.....	77
4.20.2	Objetivo.....	77
4.20.3	¿Cuándo Aplica?	77
4.20.4	Desarrollo.....	77
4.21	Establecer las distancias de seguridad requeridas.....	79
4.21.1	Descripción.....	79
4.21.2	Objetivo.....	79
4.21.3	¿Cuándo Aplica?	80
4.21.4	Desarrollo.....	80
4.22	Justificación técnica de desviación de la NTC 2050, cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.....	82
4.22.1	Descripción.....	82
4.22.2	Objetivo.....	82
4.22.3	¿Cuándo Aplica?	83
4.22.4	Desarrollo.....	83
4.23	Los demas estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, mecánicas y térmicas.....	84
4.23.1	Descripción.....	84
4.23.2	Objetivo.....	84
4.23.3	¿Cuándo Aplica?	84
4.23.4	Desarrollo.....	84
5	Conclusiones	87
6	Referencias Bibliográficas	87



INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Alambre o Cable centelsa con aislamiento THHN/THWN con tensión nominal de 600V [6].</i>	24
<i>Figura 2 Alambre o Cable centelsa con aislamiento THHN/THWN con tensión nominal de 600V [6].</i>	24
<i>Figura 3 Alambre o Cable Procables con aislamiento THHN/THWN con tensión nominal de 600V [7].</i>	24
<i>Figura 4 Alambre o Cable Procables con aislamiento libre de halógenos y tensión nominal de 600V [7].</i>	25
<i>Figura 5. Espacio de trabajo Melshort.</i>	27
<i>Figura 6 Parametrización de la fuente de alimentación de la instalación.</i>	27
<i>Figura 7 parametrización de la acometida.</i>	28
<i>Figura 8 Parametrización de la protección ubicada en el gabinete de medida.</i>	28
<i>Figura 9 Parametrización del Totalizador ubicado en tablero principal de distribución.</i>	29
<i>Figura 10. Parametrización de los circuitos ramales.</i>	29
<i>Figura 11 Corrientes de falla del circuito.</i>	30
<i>Figura 12 Solución de corriente de falla software LS.</i>	31
<i>Figura 13 Mapa de ISO-Niveles ceramicos para Colombia (Área de 30 km x30 km) – 1999.</i>	33
<i>Figura 14. Panorámica de edificación en estudio.</i>	34
<i>Figura 15. Panorámica de edificación en estudio</i>	34
<i>Figura 16. Caracterización de la estructura a proteger.</i>	35
<i>Figura 17. Límites tolerables de Riesgo.</i>	36
<i>Figura 18. Ejemplo manera gráfica de identificar los riesgos que exceden los límites tolerables.</i>	36
<i>Figura 19. Cálculo del riesgo sin protección.</i>	36
<i>Figura 20. Cálculo con protección externa de Nivel IV</i>	37
<i>Figura 21. Ejemplo de cuadro de análisis de riesgo eléctrico, tomado del RETIE [2].</i>	42
<i>Figura 22. Clasificación de nivel de riesgo, tomado del RETIE [2].</i>	43
<i>Figura 23. Configuración en planta del electrodo de puesta a tierra [1].</i>	52
<i>Figura 24. Configuración en perspectiva del electrodo de puesta a tierra [1].</i>	52
<i>Figura 25. Resultados obtenidos en el entorno DGSys[1].</i>	53
<i>Figura 26 Configuración para determinar los perfiles de tensión [1].</i>	55
<i>Figura 27. Perfil de tensión de la malla de puesta a tierra de la instalación [1].</i>	55
<i>Figura 28. Coordinación de protecciones entre totalizador de 90 A y protección de circuito ramal de 40 A [1].</i>	60
<i>Figura 29 Coordinación de protecciones entre totalizador de 90 A y dos protecciones de circuito ramal de 30 y 20 A [1].</i>	61
<i>Figura 30 Diagrama unifilar de tablero de distribución principal [1]</i>	71
<i>Figura 31 Diagrama unifilar para coordinación de protecciones, Software LS [1].</i>	72

<i>Figura 32 Diagrama unifilar de gabinete de medida [1].</i>	73
<i>Figura 33 Esquemas constructivos de local comercial [1].</i>	75
<i>Figura 34 Convenciones definidas por el diseñador [1].</i>	75
<i>Figura 35 Plano de salidas eléctricas, local comercial[1]</i>	76
<i>Figura 36 Plano salidas e iluminación, Sede de oficinas [1].</i>	76
<i>Figura 37 Detalle Sistema de transferencia manual [1].</i>	78
<i>Figura 38 Detalle de conexión de tomacorriente [1].</i>	78
<i>Figura 39 Detalle de Luminaria en Drywall [1]</i>	79
<i>Figura 40 Nivel mínimo de protección térmica según NFPA 70E [2].</i>	81
<i>Figura 41 Distancia mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna [2].</i>	81
<i>Figura 42 Limites de aproximación [2].</i>	82
<i>Figura 43 Factor de carga de Ocupantes, Tabla 7.3.1.2 de la NFPA 101.</i>	85



INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Requerimientos del diseño [2].</i>	15
<i>Tabla 2. Análisis previo de carga [1].</i>	18
<i>Tabla 3. Ejemplo de cuadro de cargas, fuente IENEL S.A.S [1].</i>	18
<i>Tabla 4. Cuadro de cargas, notas de clase circuitos eléctricos 2 [4].</i>	20
<i>Tabla 5. Cuadro de cargas, Clase instalación de usuario final, Universidad de Antioquia [5].</i>	21
<i>Tabla 6. Continuación tabla 5[5].</i>	21
<i>Tabla 7. Análisis de factor de potencia.</i>	22
<i>Tabla 8. Tabla de factores de riesgo, posible causas y medidas de protección [2].</i>	38
<i>Tabla 9. Factores de riesgo, electrocución y medidas para mitigarlos [1].</i>	41
<i>Tabla 10. Análisis de riesgo para electrocución por contacto directo con tablero de distribución y salidas eléctrica [1].</i>	44
<i>Tabla 11. Resultados del análisis de riesgo para electrocución por contacto directo con tablero de distribución y salidas eléctrica [1].</i>	44
<i>Tabla 12. Análisis de riesgo para electrocución por contacto indirecto con partes metálicas y salidas eléctricas[1].</i>	45
<i>Tabla 13. Resultados del análisis de riesgo para electrocución por contacto indirecto con partes metálicas y salidas eléctricas[1].</i>	46
<i>Tabla 14. Análisis de riesgo eléctrico por sobrecarga [1].</i>	46
<i>Tabla 15. Resultados del análisis de riesgo eléctrico por sobrecarga [1].</i>	47
<i>Tabla 16. Cálculo del transformador [1].</i>	50
<i>Tabla 17. Características del transformador[1].</i>	50
<i>Tabla 18. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra [2].</i>	51
<i>Tabla 19. Llenado de las Canalizaciones de Circuitos Alimentadores [1].</i>	63
<i>Tabla 20. Llenado de las Canalizaciones de Circuitos Ramales [1].</i>	63
<i>Tabla 21. Cálculo de pérdidas técnicas en el Alimentador [1].</i>	65
<i>Tabla 22. Zeficaz para conductores [3].</i>	66
<i>Tabla 23. Resumen de cálculos de regulación de tensión [1].</i>	68
<i>Tabla 24. Cálculo ocupación de personas punto fijo.</i>	85

INTRODUCCIÓN

La ingeniería eléctrica cuenta con un extenso campo laboral, campo que recorre todos y cada uno de los procesos por los cuales pasa la energía eléctrica y que componen un sistema eléctrico de potencia, tanto desde sus inicios en el proceso de generación hasta la etapa del uso final de la energía, es en esta última etapa en donde se presentan una mayor cantidad de imprudencias debido a que los diseños no se elaboran de manera adecuada, resultando así instalaciones inseguras que ponen en peligro el bien material y la vida misma, por esta razón surgió la idea de elaborar una guía que permita instruir al lector de este documento quien debe contar con formación previa en instalaciones eléctricas, sobre la forma correcta de elaborar una memoria de cálculo eléctrico, que incluya el paso a paso de cómo llevar a cabo el diseño de una instalación que requiere diseño detallado, explicando cada uno de los ítems desde la A hasta la W, realizando el respectivo análisis de cuando aplica y cuando no, luego se hace un recuento de los métodos y mecanismos utilizados para dar solución a cada uno de ellos desarrollando ejemplos de la vida real, para dar así suficiente ilustración, dotando al lector de herramientas suficientes para que en su vida laboral se encuentre en capacidad de implementar una instalación de características similares.

1 OBJETIVOS

- Exponer de manera clara y detallada los tipos de diseño que aplican para las diferentes instalaciones eléctricas, generando así una guía que permita identificar de manera rápida que instalación requiere diseño detallado o diseño simplificado.
- Abordar cada uno de los ítems de un diseño detallado, generando un guía que permita identificar cuando aplica y cuando no los literales de la A hasta la W, luego, realizar el desarrollo de cada uno de estos, brindando así información detallada y útil que sirva como una guía para llevar a cabo, de manera adecuada unas memorias de cálculo.

2 MARCO TEÓRICO

Actualmente en Colombia las instalaciones eléctricas se construyen y diseñan con base en el anexo general del reglamento técnico de instalaciones eléctricas y en los primeros 7 capítulos de la norma técnica colombiana NTC 2050 código eléctrico, esto con el fin de garantizar que todas las instalaciones cumplan con los estándares de seguridad requeridos; adicionalmente, el anexo general define y clasifica el diseño que requiere cada una de las instalaciones dependiendo de su potencia instalada, su área construida y la finalidad o uso con la que se construye la misma.

A continuación, se expone el artículo 10.1 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas en donde se explican cuando una instalación aplica a cada tipo de diseño y que se requiere en cada uno de ellos.

“10.1 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Toda instalación eléctrica a la que le aplique el RETIE, debe contar con un diseño realizado por un profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño podrá ser detallado o simplificado según el tipo de instalación.

10.1.1 Diseño Detallado: El Diseño detallado debe ser ejecutado por profesionales de la ingeniería cuya especialidad esté relacionada con el tipo de obra a desarrollar y la competencia otorgada por su matrícula profesional, conforme a las Leyes 51 de 1986 y 842 de 2003. Las partes involucradas con el diseño deben atender y respetar los derechos de autor y propiedad intelectual de los diseños. La profundidad con que se traten los temas dependerá de la complejidad y el nivel de riesgo asociado al tipo de instalación y debe contemplar los ítems que le apliquen de la siguiente lista:

- a. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.
- b. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.
- c. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- d. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
- e. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- f. Análisis del nivel tensión requerido.
- g. Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1
- h. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.
- i. Cálculo del sistema de puesta a tierra.
- j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.
- k. Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.
- l. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.
- m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.
- n. Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).

- o. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.
- p. Cálculos de regulación.
- q. Clasificación de áreas.
- r. Elaboración de diagramas unifilares.
- s. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- t. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.
- u. Establecer las distancias de seguridad requeridas.
- v. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
- w. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

Nota 1. La profundidad con que se traten los ítems dependerá del tipo de instalación, para lo cual debe aplicarse el juicio profesional del responsable del diseño.

Nota 2. El diseñador deberá hacer mención expresa de aquellos ítems que a su juicio no apliquen.

Nota 3. Para un análisis de riesgos de origen eléctrico, el diseñador debe hacer una descripción de los factores de riesgos potenciales o presentes en la instalación y las recomendaciones para minimizarlos.

10.1.2 Diseño Simplificado: El diseño simplificado podrá ser realizado por ingeniero o tecnólogo de la especialidad profesional acorde con el tipo de instalación y que esté relacionada con el alcance de la matrícula profesional. Igualmente, el técnico electricista que tenga su certificación de competencia en diseño eléctrico otorgada en los términos de la Ley 1264 de 2008, podrá realizar este tipo de diseño.

El diseño simplificado se aplica para los siguientes casos:

Numeral 10.1 modificado mediante Resolución 9 0795 de 25 de julio de 2014. ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE 50

- a) Instalaciones eléctricas de vivienda unifamiliar o bifamiliares y pequeños comercios o pequeñas industrias de capacidad instalable mayor de 7 kVA y menor o igual de 15 kVA, tensión no mayor a 240 V, no tengan ambientes o equipos especiales y no hagan parte de edificaciones multifamiliares o construcciones consecutivas objeto de una misma licencia o permiso de construcción que tengan más de cuatro cuentas del servicio de energía y se especifique lo siguiente:
 - Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. •Diseño del sistema de puesta a tierra.
 - Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes.

- Cálculos de canalizaciones y volumen de encerramientos (tubos, ductos, canaletas, electroductos).
- Cálculos de regulación.
- Elaboración de diagramas unifilares.
- Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- Establecer las distancias de seguridad requeridas.

b) Ramales de redes aéreas rurales de hasta 50 kVA y 13,2 kV, por ser de menor complejidad. El diseño simplificado debe basarse en especificaciones predefinidas por el operador de red y cumplir lo siguiente:

- Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- Diseño de puesta a tierra.
- Protecciones contra sobrecorriente y sobretensión.
- Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- Especificar las distancias mínimas de seguridad requeridas.
- Definir tensión mecánica máxima de conductores y templetes.

El diseño simplificado debe ser suscrito por el profesional competente responsable de la construcción de la instalación eléctrica o quien la supervise, con su nombre, apellidos, número de cédula de ciudadanía y número de la matrícula profesional de conformidad con la ley que regula el ejercicio de la profesión. Dicho diseño debe ser entregado al propietario de la instalación.

10.1.3 Casos de reemplazo del diseño: Para las instalaciones de edificaciones para uso domiciliario o similar, clasificadas como instalaciones básicas cuya capacidad instalable sea menor o igual a 7 KVA, que no hagan parte de edificaciones con más de 4 cuentas, ni contemplen instalaciones especiales, el diseño se podrá reemplazar por un esquema o plano de construcción, basado en especificaciones predefinidas, que debe suscribir con su nombre, cédula de ciudadanía, número de matrícula profesional y firma el técnico, tecnólogo o ingeniero responsable de la construcción de la instalación y entregarlo al propietario de la instalación, el cual deberá conservarlo para el mantenimiento y posteriores reparaciones de la instalación y se anexará copia con la declaración de cumplimiento para efectos de legalización de la instalación con el operador de la red.

En el esquema o plano de construcción que sustituye el diseño deberá evidenciarse y precisarse los siguientes aspectos:

- a. Que se cumplen las distancias mínimas de seguridad a partes expuestas de redes eléctricas y no se invaden servidumbres de líneas de transmisión.
- b. El tipo y ubicación del sistema de puesta a tierra, especificando el tipo de electrodo, sus dimensiones, así como el calibre y tipo del conductor de puesta a tierra.
- c. Identificación de la capacidad y tipo de las protecciones de sobrecorriente, acorde con la carga y calibre del conductor de cada circuito.

- d. Un diagrama unifilar de la instalación y el cuadro de carga de los circuitos.
- e. La localización de tablero de medición, tablero de distribución, tipo y diámetro de tubería, número y calibres de conductores, interruptores y tomacorrientes y demás aparatos involucrados en la instalación eléctrica.” [1].

3 METODOLOGÍA

Los pasos llevados a cabo para lograr los objetivos propuestos fueron:

Se realizó la respectiva lectura de los diferentes artículos del RETIE y la NTC 2050 que eran de interés para el diseño de una instalación eléctrica de uso final en baja tensión, lo que permitió tener el conocimiento y criterio suficiente para llevar a cabo de manera correcta la realización de las memorias de cálculo.

Se aplicaron los conceptos adquiridos en el proceso de lectura y en el ámbito práctico. Para este proceso y con la autorización de la empresa IENEL SAS, se tomaron como referencia algunos de los proyectos que se están llevando a cabo y que aplicaban como instalación de diseño detallado, afianzando así todo el conocimiento recopilado en el proceso de investigación.

Por último, se llevó a cabo el proceso de redacción de la guía de las memorias de cálculo, con el fin de depositar en ellas todo lo aprendido en el proceso de lectura, describiendo todo lo observado en los procesos de diseño de la empresa, tomando como muestra los cálculos y análisis realizados en los procesos de diseño detallado de los proyectos tomados en referencia.

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El Anexo general en el artículo 10 del Retie hace referencia a los requerimientos de diseño que se deben cumplir en este tipo de instalaciones eléctricas. En la *Tabla 1* se relacionan los ítems del artículo 10,1 del Retie que se deben o no aplicar a estas memorias de diseño.

Tabla 1. Requerimientos del diseño [2].

Ítem
a. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.
b. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.
c. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
d. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
e. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.

Ítem

- f.** Análisis del nivel tensión requerido.
- g.** Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición.
- h.** Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.
- i.** Cálculo del sistema de puesta a tierra.
- j.** Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.
- k.** Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.
- l.** Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.
- m.** Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes, En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.
- n.** Cálculos de canalizaciones
- o.** Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.
- p.** Cálculos de regulación.
- q.** Clasificación de áreas.
- r.** Elaboración de diagramas unifilares.
- s.** Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- t.** Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.
- u.** Establecer las distancias de seguridad requeridas.
- v.** justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
- w.** Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

A continuación, desarrollaremos cada uno de los ítems de la A a la W, analizando cuando aplica y cuando no cada uno de ellos, llevando a cabo algunos ejemplos de cálculo, con el fin de que el lector tenga suficiente ilustración y quede capacitado para desarrollar a cabalidad el diseño de una instalación eléctrica de uso final.

4.1 Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.

4.1.1 Descripción:

En este literal se realiza un recuento de las cargas que serán alimentadas a través de las instalaciones eléctricas en diseño, la estimación de la carga inicial es posible realizarla de diferentes formas, puede ser solicitando información de los equipos que se sabe con certeza que se conectaran al sistema o basándose en los criterios del diseñador, dependiendo del tipo de uso que se le dará a la instalación y también tomando en

consideración las necesidades que el propietario del inmueble desea suplir a través de la instalación eléctrica. Además de las cargas que se tienen en el presente, se debe tener en cuenta las cargas que se conectaran en el futuro, estimándolas con base en información solicitada al propietario de la instalación o dejando una capacidad instalada adicional, que le permita a la instalación tener cierta holgura para que en tiempo futura puedan conectarse algunas cargas que no están previstas aun.

4.1.2 Objetivo.

El objetivo de realizar un análisis de carga es tener un conocimiento previo de la carga a alimentar, identificar el nivel de tensión de la misma y la corriente que demanda al operar en dicho nivel de tensión, el factor de potencia de toda la carga combinada y el nivel de distorsión armónica de la misma.

4.1.3 ¿Cuándo aplica?

Aplica siempre y en todas las instalaciones eléctricas, esto debido a que el fin de la construcción y diseño de las instalaciones eléctricas es suplir completamente las necesidades eléctricas del usuario y, para que esto se cumpla satisfactoriamente, es importante realizar un buen análisis de carga.

4.1.4 Desarrollo.

4.1.4.1 Análisis y cuadro de Cargas.

El cuadro de cargas es una sumatoria de las potencias asociadas a cada una de las cargas conectadas a la instalación, esto con la finalidad de encontrar la potencia instalada total, permitiendo así estimar el calibre del alimentador y acometida de la instalación y las protecciones de la misma.

Un cuadro de cargas como mínimo debe llevar los siguientes ítems.

- Número del circuito al que se encuentran conectada la carga en el tablero de distribución.
- Breve descripción de la carga.
- Potencia nominal de la carga.
- Voltaje al cual se encuentra conectada la carga.
- Corriente que circula por la carga.
- Fase a la que se encuentra conectado el circuito de la carga.

Luego, a partir de estos parámetros, se pueden calcular otros aspectos de cada circuito como los son, protecciones, selección de conductores, diámetro del ducto a utilizar, ocupación de los ductos, si se le agrega la longitud que recorre el conductor también es

posible calcular la regulación del circuito, calcular desbalance de carga entre las fases y entre otros aspectos.

Cuadro de análisis previo de carga.

En la Tabla 2 se puede visualizar un análisis previo de carga, en donde se busca identificar las necesidades energéticas de la instalación a diseñar.

Tabla 2. Análisis previo de carga [1].

Tablero 1			
Descripción	--	Descripción	--
Cargas fijas [kVA]		Tipo de carga	
Otras cargas [kVA]		Tensión [V]	
Factor de demanda cargas fijas		Total Carga instalada [kVA]	
Factor de demanda otras cargas primeros 10 [kVA]		Total carga demandada [kVA]	
Factor de demanda otras cargas más de 10 [kVA]		Corriente nominal [A]	
Factor de demanda general			
Alimentador		2N°8+1N°10+1N°10 AWG THHN	

Donde:

Cargas Fijas: son todas aquellas cargas que se encuentran conectadas la mayor parte del tiempo a una potencia cercana a la nominal.

Otras cargas: son todas aquellas cargas diversas que a lo largo del tiempo se conectan y desconectan de manera aleatoria.

Factor de demanda: según la NTC 2050 es la relación entre la demanda máxima de una instalación o parte de la misma y la carga total conectada a la instalación o a una parte de la misma[3].

$$F_d = \frac{\text{Potencia demanda}}{\text{Potencia instalada}}$$

Nota: en el artículo 220 de la NTC 2050 es posible consultar el procedimiento para estimar el factor de demanda de manera adecuada.

Cuadro de cargas IENEL.

Tabla 3. Ejemplo de cuadro de cargas, fuente IENEL S.A.S [1]

TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN (TG)																
(Tablero de 36 circuitos, trifásico, 5 Hilos, 208/120V)																
Circuitos	#Tomas	#Lumin.	Descripción	Polos	Protección	Ramal	Tensión	Tomas	Ilum.	Otras	Total	Longitud	Corriente [A]			Regulación del ramal
							[V]	[VA]	[VA]	[VA]	[VA]	[m]	Fase A	Fase B	Fase C	
1 / 3 / 5	1	0	Horno	3	40A	3 N° 8 THHN/THWN	208	0	0	14000	14000	7	38,9	38,9	38,9	0,51%
2 / 4	1	0	Nevera Autocontenida	2	20A	3 N° 12 THHN/THWN	208	0	0	1500	1500	20	7,2	7,2		0,79%
7	2	0	Tomacorrientes 120 V preparación 2	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	0	1500	1500	20	12,5			2,36%
8	1	0	Microondas 1	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	0	1050	1050	20	8,8			1,65%
9	1	0	Congelador Horizontal	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	0	1000	1000	20		8,3		1,58%
10	1	0	Refrigerador	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	0	1000	1000	20		8,3		1,58%
11	1	0	Congelador 1	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	0	1000	1000	20			8,3	1,58%
12	1	0	Congelador 2	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	0	1000	1000	20			8,3	1,58%
13	1	0	Escritorio	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	180	0	180	20	20	1,5			0,28%
14	3	0	Poss	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	540	0	540	20	20	4,5			0,85%
15	0	8	Iluminación General	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	200	0	200	20		1,7		0,32%
16	0	3	Iluminación de emergencia	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	0	9	0	9	20		0,1		0,01%
17	1	0	Lampara antimoscas	1	20A	3 N° 12 THHN/THWN	120	250	0	250	20	20			2,1	0,39%
18	1	0	UPS	1	30A	3 N° 10 THHN/THWN	120	0	0	3000	3000	20			25,0	2,86%
19/.../36			Reservas													
Carga Instalada [kVA]			26,2	Factor de potencia		0,95	Tensión nominal [V]		208/120			Corriente total por fases [A]			Regulación alimentador	
Carga demandada [kVA]			21,0	Factor de demanda		0,80	Corriente nominal [A]		58,3			73,4	64,5	82,7		
Total [kW]			19,9	Protección General		3x 100	Long. alimentador [m]		20							
Fases		(1) 2 AWG THHN			Neutro		(1) 2 AWG THHN		Tierra		(1) 6 AWG THHN					

En la Tabla 3 es posible observar un ejemplo de un cuadro de cargas, en el cual es posible identificar los parámetros más importantes y que forman parte fundamental del diseño de los circuitos ramales de una instalación eléctrica.

Recorriendo de izquierda a derecha encontramos:

- Numero de circuito que ocupa el circuito ramal en el tablero de distribución a implementar en la instalación; es importante tener claro el formato de numeración con el que cuenta el tablero.
- Cantidad de dispositivos a conectar en el circuito de interés, en este caso se dividió la sumatoria de dispositivos en 2 grupos principales, salidas de tomacorrientes y salidas de iluminación.
- Descripción corta de a qué zona o a que aparatos alimenta el circuito ramal a calcular.
- Numero de polos, el número de polos se selecciona con el tipo de carga a alimentar, si es una carga monofásica, bifásica o trifásica, adicionalmente, este también será el número de polos del interruptor automática que sirva de protección para el circuito ramal.
- Protección; la protección se selecciona de manera que la corriente nominal de la misma sea la comercialmente próxima por encima a la corriente demandada por la carga, por ejemplo, si la carga demanda una corriente de 17,3 A, se selecciona la protección con capacidad nominal más próxima por encima de este valor, la cual corresponde a una protección de 20 A, otro ejemplo sería una carga con capacidad nominal de 11 A, en este caso la protección a seleccionar sería la protección más próxima comercialmente, la cual sería una protección de 15 A, aunque es importante resaltar que en la actualidad generalmente se opta por seleccionar las protecciones con capacidad nominal mínimo de 20 A, esto con el objetivo de facilitar la tarea en el proceso de cantidades de obra y presupuesto.
- Calibre del conductor, el calibre del conductor se selecciona con ayuda de la tabla 310.16 de la NTC 2050; el calibre del conductor debe cumplir dos aspectos principales, el primero de ellos es que la capacidad portadora de corriente del conductor sea mayor o igual a la corriente nominal de la carga a alimentar y segundo

que la capacidad portadora de corriente sea igual o superior a la capacidad nominal de la protección del circuito ramal.

- Tensión, en esta columna se reporta la tensión nominal a la que opera la carga a alimentar, parámetro que es posible identificarse en los datos de placa de los elementos a energizar.
- Potencia, en esta columna se reporta la potencia nominal de los dispositivos a conectar en cada circuito, parámetro que es posible identificar en los datos de placa de cada aparato.
- Longitud, en esta columna se reporta la distancia lineal a la cual se encuentra el aparato más lejano conectado al circuito ramal medido desde el tablero de distribución.
- Corriente, la columna de corriente se calcula con ayuda de la potencia y el voltaje de cada uno de los circuitos ramales, claramente identificando con anterioridad si se trata de una carga monofásica, bifásica o trifásica.
- Regulación de voltaje, en esta columna se calcula la regulación de voltaje, calculo que será detallado más adelante en este mismo documento.

Cuadro de cargas, curso de circuitos eléctricos, universidad de Antioquia.

Tabla 4. Cuadro de cargas, notas de clase circuitos eléctricos 2 [4].

Cto.	Tomas		Lamp.	Descripción	P(W)	I(A)	Calibre Awg Thw	Protecc (A)
	240	120						
1-2	1			Estufa	8000	33.3	2#6.1#8 1#10	2x50
3-4	1			Tina	1500	6.25	3#12	2x20
5		1		Horno microondas	1500	12.5	3#12	1x20
6		8	5	Alumbrado y tomas	1300	10.8	3#12	1x20
7		6	2	Alumbrado y tomas	800	6.67	3#14	1x15
8		1		Plancha y lavadora	1800	15	3#12	1x20
9		6	4	Licud.olla de arroz nevera.Alumbr. tomas	2250	18.7	3#12	1x20
10		3	2	Alumbrado y tomas	500	4.2	3#14	1x15

En la Tabla 4 es posible observar un cuadro de cargas un poco más simple que el mostrado en el ejemplo anterior pero que puede ser útil en aplicaciones de uso residencial en donde la mayoría de circuitos son utilizados para alimentar cargas de iluminación y de pequeños artefactos; En el cuadro de cargas recorriendo de izquierda a derecha encontramos:

- Número del circuito.
- Número de tomas, separándolos respectivamente por la tensión nominal de operación.
- Numero de luminarias que alimenta el circuito.
- Descripción de las cargas alimentadas por el circuito.
- Potencia total suministrada por el circuito en cuestión.
- Corriente demanda por la carga.
- Calibre del conductor del circuito, cabe resaltar que este se selecciona debido a la necesidad amperimétrica de las cargas en coordinación con la protección equipada.

- Protección del circuito.

Cuadro de cargas, curso de instalación de usuario final, universidad de Antioquia.

Tabla 5. Cuadro de cargas, Clase instalación de usuario final, Universidad de Antioquia [5].

No. Circuito	Descripción Circuito Ramal	Carga en [VA]	Tensión [V]	Distancia Tablero (m)	Polos	Calibre Fase	Protección	Ducto Mínimo PVC/EMT	Corriente [A]	Caida de Tensión %
1	Iluminación Baño + tomas baño	520	120	35	1	12	15	Φ 1/2 "	4,3	1,47%
2	Tomas pasillos	720	120	30	1	12	15	Φ 1/2 "	6,0	1,75%
3	Circuito Iluminación pasillo	1.815	120	30	1	10	20	Φ 1/2 "	15,1	2,77%
4	Tomas Restaurante	1.260	120	45	1	10	15	Φ 1/2 "	10,5	2,88%
4	Iluminación Restaurante	819	208	45	2	12	15	Φ 1/2 "	3,9	0,99%
6	Iluminación restaurante	819	208	45	2	12	15	Φ 1/2 "	3,9	0,99%
R	Reserva no Equipada									
R	Reserva no Equipada									

En la Tabla 5 se observa el cuadro de cargas utilizado en el curso de instalación de usuario final del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, este ejemplo es un cuadro bastante elaborado, en el cual se calculan un gran número de parámetros, que permiten dimensionar de manera completa los circuitos ramales de una instalación eléctrica; recorriendo de izquierda a derecha, en este cuadro encontramos:

- Numero de circuito ramal.
- Descripción breve de los elementos o la zona a alimentar con el circuito ramal.
- Potencia aparente demandada por la carga del circuito.
- Tensión nominal de operación.
- Distancia o longitud lineal recorrida por los conductores del circuito desde el tablero de distribución hasta el aparato más lejano alimentado por cada circuito.
- Numero de polos del circuito.
- Calibre del conductor de fase.
- Protección de sobrecorriente equipado en el circuito.
- Diámetro del ducto por el cual se canalizará el circuito ramal.
- Corriente.
- Regulación de tensión del circuito.

Tabla 6. Continuación tabla 5[5].

Corriente para selección del conductor	Capacidad de corriente del conductor	Capacidad de corriente del conductor	Calibre Tierra	Calibre Neutro	Sección del conductor [mm ²]	Area Exterior Cables mm ²	Area Interior Tubería mm ²	Número de conductores por fase	Número de conductores por canalización	Temp. Amb. (°C)	Carga por fase (VA)	Pérdidas de energía kWm
5,4	25	28	14	12	3,30	12,7	58,8	1	1 a 3	31-35	520	8,62
7,5	25	28	14	12	3,30	12,7	58,8	1	1 a 3	31-35	720	14,17
18,9	35	38	12	10	5,25	20,5	58,8	1	1 a 3	31-35	1.815	54,08
13,1	35	38	14	10	5,25	20,5	58,8	1	1 a 3	31-35	1.260	39,09
4,9	25	28	14	--	3,30	16,9	58,8	1	1 a 3	31-35	410	9,15
4,9	25	28	14	--	3,30	16,9	58,8	1	1 a 3	31-35	410	9,15

La Tabla 6 es la continuación del cuadro de cargas utilizado en el curso de instalación de uso final del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Antioquia, de izquierda a derecha se encuentra:

- Corriente para selección del conductor, la cual se calcula teniendo en cuenta las necesidades de intensidad de la carga tanto en estado estable como en estado transitorio.

- Capacidad amperimétrica del conductor seleccionado.
- Calibre del conductor de tierra, cabe resaltar que este calibre se selecciona según se indique en la tabla 250-95 de la NTC 2050, la cual se selecciona dependiendo de la protección equipada en el circuito.
- Calibre del conductor neutro.
- Sección transversal del conductor.
- Área exterior de cables.
- Área interior de la tubería.
- Número de conductores por fase.
- Número de conductores por canalización.
- Temperatura ambiente.
- Carga por fase.
- Pérdidas de energía.

Análisis de factor de potencia.

De la teoría de los circuitos eléctricos, se encuentra que el factor de potencia se define como la relación que resulta entre la potencia activa sobre la potencia aparente, como se muestra en la ecuación.

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Para encontrar el factor de potencia total es necesario realizar la sumatoria de todas las potencias activas y todas las potencias aparentes de la instalación y luego aplicar la ecuación (1) para encontrar el factor de potencia total de la instalación. Es importante resaltar que este análisis se realiza cuando se sabe con certeza los dispositivos a conectar en la instalación.

Tabla 7. Análisis de factor de potencia.

CARGA	KVA	FP	KW
Horno	9	0,8	7,2
Iluminación	2,5	0,95	2,375
Bomba de agua	3	0,87	2,61
Plancha	1,8	0,98	1,764
TOTAL	16,3	0,8557669	13,949

En la Tabla 7 es posible apreciar un análisis de factor de potencia para una instalación en la cual se conocen las cargas a alimentar. Como ya se había mencionado con anterioridad, se realiza una sumatoria de toda la potencia aparente y de toda la potencia activa a alimentar y luego de la relación entre estas dos, es posible encontrar el factor de potencia.

4.2 Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.

4.2.1 Descripción:

La coordinación de aislamiento eléctrico se define como la correlación que existe entre los esfuerzos dieléctricos de todos y cada uno de los dispositivos de los que está compuesto una red eléctrica, esto con el objetivo de garantizar que se minimice la posibilidad de que se genere una falla.

La coordinación de aislamiento es principalmente importante en líneas de transmisión y subestaciones de alta tensión, esto debido a que son las etapas del sistema de potencia que son más susceptible a sobretensiones causadas por descargas atmosféricas y maniobra.

4.2.2 Objetivo.

El principal objetivo de la coordinación de aislamiento es reducir al máximo las posibles fallas que pueden ser ocasionadas debido a sobretensiones en la red eléctrica.

4.2.3 ¿Cuándo aplica?

Debe ser considerando siempre, aunque es de suma importancia resaltar que la coordinación de aislamiento es principalmente importante para instalaciones de alta y extra alta tensión, como lo son subestaciones y líneas de transmisión. Sin embargo, en instalaciones de uso final en baja tensión, las cuales son objeto de estudio de estas memorias de cálculo, la coordinación de aislamiento se reduce a simplemente considerar que se utilice alambres o cables con el mismo nivel de aislamiento de los dispositivos a conectar, que para el caso de baja tensión se reduce a conductores que soporten 600 V o 1000 V, esto tomando en consideración que las sobretensiones en baja tensión no son de magnitud considerable y que la red de distribución a la cual se encuentra conectado el transformador que realiza la reducción de tensión se encuentra protegido por Dps.

4.2.4 Desarrollo.

Como ya se mencionó con anterioridad, para instalaciones eléctricas de uso final en baja tensión, la coordinación de aislamiento basta con asegurarse de que los conductores a utilizar cuenten con un aislamiento que soporte tensiones desde 600V hasta 1000 V, esto debido a que el BIL en baja tensión no cuenta con mucha variación ni mucha relevancia a la hora de diseñar la instalación; aunque es de importancia mencionar que en las instalaciones eléctricas no es permitido que por una misma canalización se tengan conductores con diferentes nivel de aislamiento, para mantener así una coordinación adecuada.

A continuación se va a revisar algunos catálogos de fabricantes de cables y conductores eléctricos más reconocidos, para así identificar algunas de las referencias y tipos de aislamientos que aplican para instalaciones eléctricas de uso final en baja tensión.



ALAMBRES Y CABLES THHN/THWN -2 CT EXTRADESGLIZABLES SR 600V 90°C

Aplicaciones

Los alambres y cables **THHN/THWN-2 CT CENTELSA** son usados para alambrado eléctrico en edificaciones en circuitos alimentadores, en ramales y redes interiores secundarias industriales.

Especial para instalaciones en sitios abrasivos o contaminados con aceite, grasas, gasolina y otras sustancias químicas.

Instalación en ductos, tuberías, tableros y en bandejas de acuerdo con el RETIE.

Figura 1 Alambre o Cable centelsa con aislamiento THHN/THWN con tensión nominal de 600V [6].



ALAMBRES Y CABLES THW-LS Y THHW-LS 600V 75°C Y 90°C

Aplicaciones

Los alambres y cables **THW-LS y THHW-LS CENTELSA** son usados para alambrado eléctrico en edificaciones, en circuitos alimentadores, en ramales y redes interiores secundarias industriales.

Figura 2 Alambre o Cable centelsa con aislamiento THHN/THWN con tensión nominal de 600V [6].

THHN/THWN-2 CT (Cobre)

Aplicaciones:
Se usa en instalaciones eléctricas de fuerza, control y alumbrados en interiores o exteriores de tipo residencial, comercial e industrial. Pueden instalarse en bandejas portacables (CT), ductos y canalizaciones, en sitios secos y mojados, circuitos ramales, alimentadores y de entrada o acometida.

Construcción:
Conductor de cobre (blando, sólido, cableado concéntrico o unidireccional combinado-UDC), aislado con PVC para 90 °C, con chaqueta de nailon.

Características:

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperatura máxima de operación: 90 °C, en ambiente seco o mojado.
- Resistente a la humedad, al calor, abrasión, elementos químicos, aceites y gasolina.
- Retardante a la llama.
- Calibre 12 AWG y mayores son aptos para bandejas portacables (CT).
- Disponibles con Tecnología Extradeslizante XD desde el calibre 8 AWG hasta 2 AWG.

Especificaciones:

- NTC 1332
- UL B5
- ASTM B8, B787, B902
- RETIE

Código (1)	Calibre		N° hilos		Espesor del aislamiento	Espesor o longitud de nailon	Diámetro exterior	Masa total	Capacidad de corriente (A)	
	AWG / kcmil	Mínimo (SIW)	Nominal	mm					mm	90 °C*
31952361001	14	1	1	0,38	0,1	2,69	23,3	25	15	
31952080001	12	1	1	0,38	0,1	3,11	35,1	30	20	
31952100001	10	1	1	0,51	0,1	3,91	55,9	40	30	
31952061001	14	6	7	0,38	0,1	2,9	24,7	25	15	
31952081001	12	6	7	0,38	0,1	3,38	37,2	30	20	
31952101001	10	6	7	0,51	0,1	4,28	59,2	40	30	
31952140001	8	6	7	0,76	0,13	5,5	96,3	55	40	
31952160001	6	6	7	0,76	0,13	6,41	146,0	75	55	
31952180001	4	6	7	1,02	0,15	8,18	233,8	95	70	
31952200001	2	6	7	1,02	0,15	9,85	350,0	130	95	
31952221001	1	7	19***	1,27	0,18	11,2	454,2	150	130	
31952147001	1/0	7	19***	1,27	0,18	12,2	562,9	170	150	
31952148001	2/0	12	19***	1,27	0,18	13,3	690,8	195	175	
31952149001	3/0	15	19***	1,27	0,18	14,6	869,6	225	200	
31952321001	4/0	17	19***	1,27	0,18	16,00	1083	260	220	
31952321001	250	18	37	1,52	0,2	17,8	1298	290	255	
31952341001	300	18	37	1,52	0,2	19,1	1529	320	285	
31952361001	350	24	37	1,52	0,2	20,4	1772	350	310	
31952381001	400	24	37	1,52	0,2	21,5	2019	380	335	
3195240001	500	30	37	1,52	0,2	23,7	2495	430	380	
31952460001	600	34	61	1,78	0,23	25,2	3001	475	420	
3195250001	750	53	61	1,78	0,23	28,8	3720	535	475	
3195260001	1000	53	61	1,78	0,23	32,6	4914	615	545	
31424082000	3 x 12****	6	7	0,38	0,1	7,38	111,8	30	20	

* Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C, no más de tres conductores que transportan corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 50 °C.

Figura 3 Alambre o Cable Procables con aislamiento THHN/THWN con tensión nominal de 600V [7].

ExZhellent BW (COBRE) Cables con cero contenido de halógenos

Aplicaciones:
Se usa en circuitos ramales (fuerza, control, alumbrado entre otros), circuitos alimentadores y circuitos de entrada o acometida de las instalaciones eléctricas en los lugares con alta concentración de personas (que en un momento determinado reúna 50 o más personas) como: salones comunales de edificaciones residenciales, salones de comercios de grandes superficies, rutas de evacuación de edificaciones de más de cinco pisos, cavernas, túneles vehiculares, auditorios, teatros, estaciones de transporte masivo tal como lo establece el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, res. 90/795 del 25 de Julio de 2013. Pueden ser instalados en ductos, bandejas portacables y en canalizaciones.

Construcción:
Cable monopolar o multipolar, conformado por alambres de cobre suave cableados concéntricamente, aislado con polímero termoplástico libre de halógenos (HFFR-LS).

Características:
- Tensión máxima de operación: 600V.



Código (1)	Calibre	Construcción		Espesor de aislamiento	Diámetro exterior	Masa total	Capacidad de corriente (A)	
		Nº de hilos	Nominal				75 °C*	Sugerida RETIE y NTC 2050 **
	AWG/kcmil	Mínimo (SIW)		mm	mm	kg/km		
31352601001	14	6	7	0.76	1.55	26.9	20	15
31352601011	12	6	7	0.76	3.83	42.3	25	20
31352602001	10	6	7	0.76	4.53	62.6	35	30
31352603001	8	6	7	1.14	5.86	104	50	40
31352604001	6	6	7	1.52	7.69	166	65	55
31352605001	4	6	7	1.52	8.87	241	85	70
31352606001	2	6	7	1.52	10.38	377	115	95
31352608001	1/0	7	19***	2.03	13.10	585	150	150
31352609001	2/0	12	19***	2.03	14.19	733	175	175
31352611001	4/0	17	19***	2.03	16.81	1123	230	230
31352612001	250	18	37	2.41	18.14	1352	255	255
31352614001	350	24	37	2.41	21.73	1845	310	310
31352618001	500	30	37	2.41	25.01	2590	360	360
31352620001	3 x 12****	6	7	0.76	6.47	127	25	20

* Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 75 °C; no más de tres conductores que transportan corriente en canalización cable o tierra, con base en una temperatura de 30 °C.

** Capacidad de corriente permitida en conductores aislados no más de tres conductores que transportan corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 30 °C; de acuerdo a la norma NTC 2050 artículo 110-14 literal c).

*** Cableado concéntrico o UDC para calibre del 1/0 al 4/0 AWG 19 hilos.

Figura 4 Alambre o Cable Procables con aislamiento libre de halógenos y tensión nominal de 600V [7].

Como se puede observar en las imágenes obtenidas de los catálogos de algunos de los fabricantes más reconocidos en el mercado actual, los cables recomendados para instalaciones eléctricas de uso final en baja tensión son los alambres y cables con nivel de aislamiento de mínimo de 600V, es importante recordar que en el caso que se necesite instalar salidas de iluminación utilizando conductores flexibles o comúnmente conocido como cable encauchetado es necesario asegurarse de que dicho conductor también cuente con un aislamiento eléctrico capaz de soportar mínimo 600 V.

Nota: En los procesos de inspección Retie, el inspector encargado de revisar la instalación realiza una prueba de aislamiento, la cual consta en aplicar un voltaje de 500V entre los conductores que componen los circuitos ramales y alimentadores, con el fin de verificar que no se hayan utilizado conductores con aislamiento por debajo de 600V o que los conductores utilizados presenten daños o imperfecciones en su aislamiento eléctrico.

4.3 Análisis de cortocircuito y falla a tierra.

4.3.1 Descripción.

El cortocircuito se define como el fenómeno o evento en el cual dos partes activas de un sistema eléctrico entre las cuales existe una diferencia de potencial se tocan y debido a que en este punto de toque se presenta una impedancia muy pequeña, ocurre una elevación súbita de la corriente, situación que se convierte en una falla, por otro lado, otro tipo de falla es la falla a tierra, esta ocurre cuando una de las líneas vivas del sistema

eléctrico hace contacto con tierra o con un elemento sólidamente conectado a esta, ocasionando así un aumento en la corriente que circula por el circuito.

El análisis de estos tipos de fallas consiste en observar el comportamiento del sistema en presencia de ellas, con el fin de identificar los posibles valores que pueden tomar las variables como voltaje y corriente ante la ocurrencia de los fenómenos ya mencionados.

4.3.2 Objetivo.

El objetivo principal de realizar un análisis de cortocircuito y falla a tierra es poder obtener los valores que pueden alcanzar el voltaje y la corriente del sistema ante la presencia de una eventual falla, permitiendo así realizar una selección óptima de las protecciones de sobrecorriente.

4.3.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que todas las instalaciones eléctricas se encuentran expuestas a este tipo de fallas y adicionalmente, todas las instalaciones eléctricas deben contar con protecciones de sobrecorriente que actúen en presencia de los eventos ya mencionados.

4.3.4 Desarrollo.

Para llevar a cabo estos cálculos resulta de gran ayuda apoyarse en algunos software de simulación de sistemas eléctricos, como pueden ser DigSilent, Etap entre otros, a pesar de que estos software son de los más conocidos en la actualidad, los programas que se utilizaran para el cálculo en estas memorias de diseño eléctricos serán unos software desarrollado por algunos fabricantes de interruptores automáticos como lo son Mitsubishi y LS, debido al ambiente amigable que ofrecen y a que, adicionalmente, son software enfocados principalmente en instalaciones de uso final.

4.3.4.1 Cálculo utilizando Software Melshort de Mitsubishi.

Para ilustrar el funcionamiento del software Melshort, se utilizara como ejemplo una instalación de uso final en baja tensión, comenzando el diagrama unifilar desde el punto de conexión suministrado por el operador de red en baja tensión, pasando por gabinete de medida en donde estará el equipo de medida y una protección o interruptor principal, luego se tiene un alimentador el cual lleva la energía desde el gabinete de medida hasta el tablero principal de distribución y luego desde el cual se derivaran los circuitos ramales que van hacia cada una de las cargas.

- En la Figura 5 es posible apreciar el espacio de trabajo en Melshort.

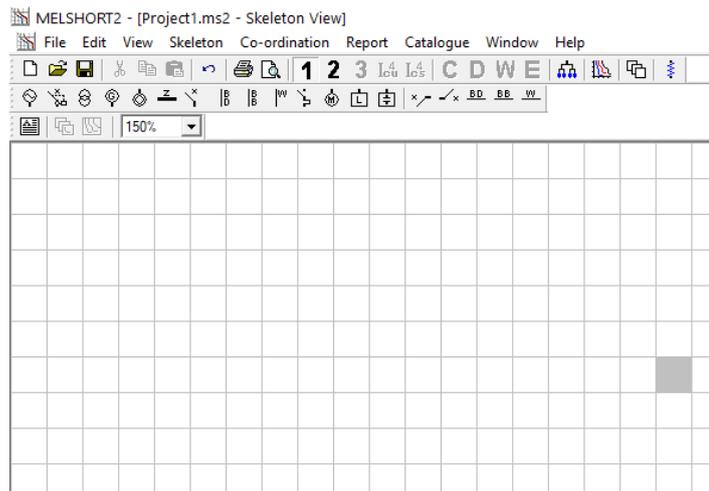


Figura 5. Espacio de trabajo Melshort

- Para comenzar se coloca la fuente de alimentación del sistema, la cual tendrá las características del punto de conexión suministrado por el operador de red, el cual se parametriza con voltaje, capacidad de potencia en MVA, frecuencia nominal del sistema, relación X/R y se le coloca un nombre para identificar el elemento al interior del diagrama unifilar

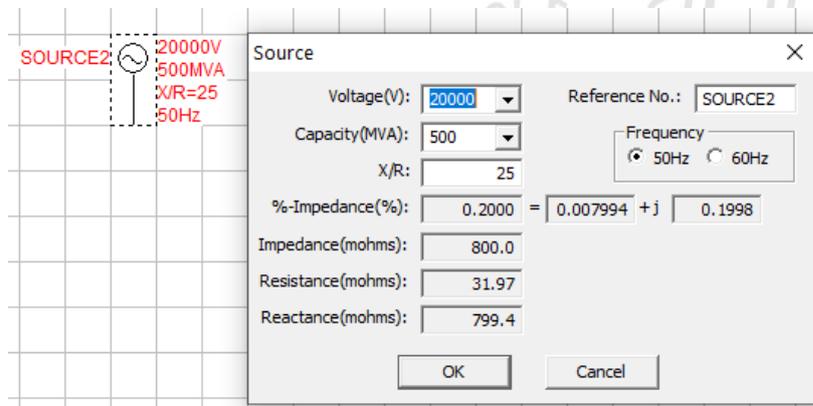


Figura 6 Parametrización de la fuente de alimentación de la instalación.

- Luego se coloca la acometida de la instalación la cual, como se muestra en la Figura 7, se debe parametrizar con las características eléctricas que tengan los conductores con los cuales se construyó la misma, teniendo como característica principal el área transversal del conductor y la longitud de la acometida.

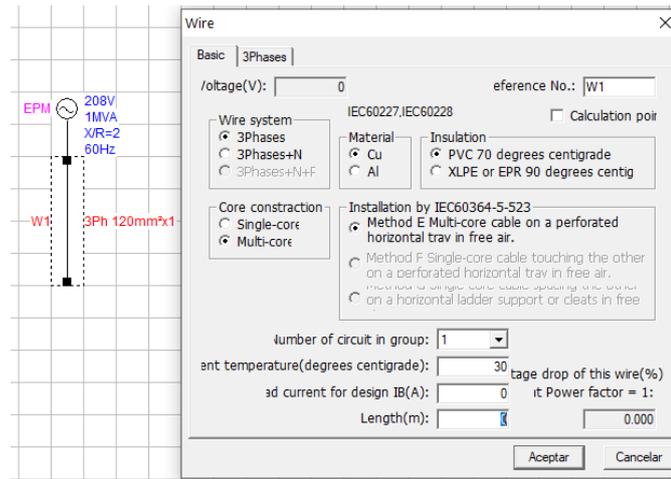


Figura 7 parametrización de la acometida.

- Luego, cómo se observa en la Figura 8, se seleccionan los interruptores automáticos o protecciones de sobrecorriente del sistema, en este caso se parametriza la protección que se colocara en el gabinete de medida, es importante seleccionar el tipo de interruptor a colocar y la capacidad de corriente del mismo, en este caso se selecciona un interruptor MCCB (modeled case circuit breaker) o Interruptor de caja moldeada y una capacidad de corriente de 100 A respectivamente, adicionalmente es importante seleccionar el número de polos del interruptor para que se acomode a la topología del sistema a la que se encuentra conectado.

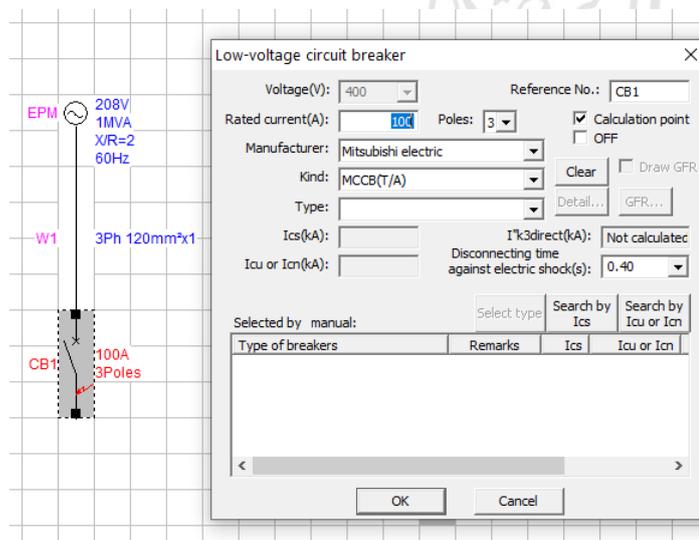


Figura 8 Parametrización de la protección ubicada en el gabinete de medida.

- Luego se coloca el alimentador, el cual se parametriza de igual forma que la acometida.
- En el siguiente paso, como se muestra en la Figura 9, se parametriza el totalizador del tablero principal de distribución este proceso se realiza de la misma manera en que se configura la protección que se encuentra en el gabinete de medida, con la única diferencia que a la salida del interruptor se conecta el barraje del tablero, desde donde se derivaran los circuitos ramales.

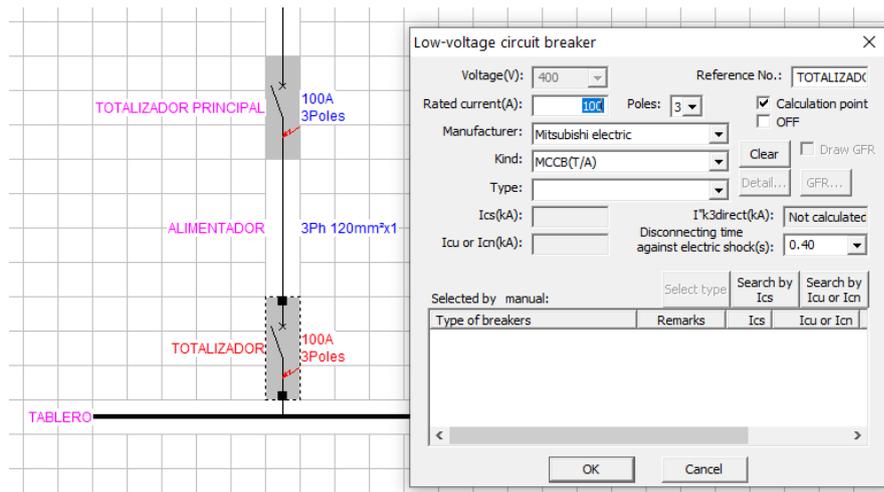


Figura 9 Parametrización del Totalizador ubicado en tablero principal de distribución.

- En la Figura 10, se muestra cómo se insertan los circuitos ramales; para colocar un circuito ramal basta con colocar un interruptor o protección de sobrecorriente al cual se le asignara un tipo y capacidad portadora de corriente, además se coloca un conductor al cual se le ajusta la longitud y el área transversal y por último se coloca una carga a la cual solo se le ajusta la corriente que necesita y el factor de potencia de la misma.

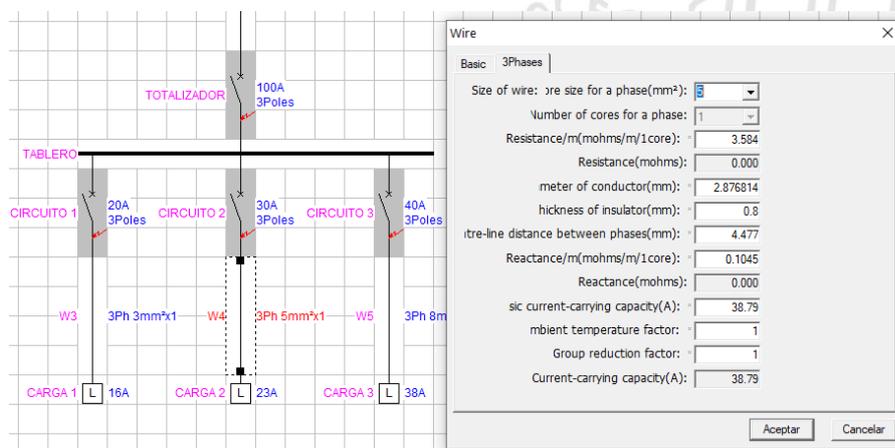


Figura 10. Parametrización de los circuitos ramales.

- Luego de simular el diagrama unifilar, el programa nos enseña las corrientes de falla más crítica como se muestra en la Figura 11, en donde es posible identificar que la corriente de mayor magnitud se presenta en caso de que la falla ocurra en el gabinete de medida, esto debido a que es el punto de la instalación que se encuentra más cerca a la fuente de alimentación del sistema.

Como resultado se obtuvo una corriente de falla de $I_c = 2.38\text{kA}$.

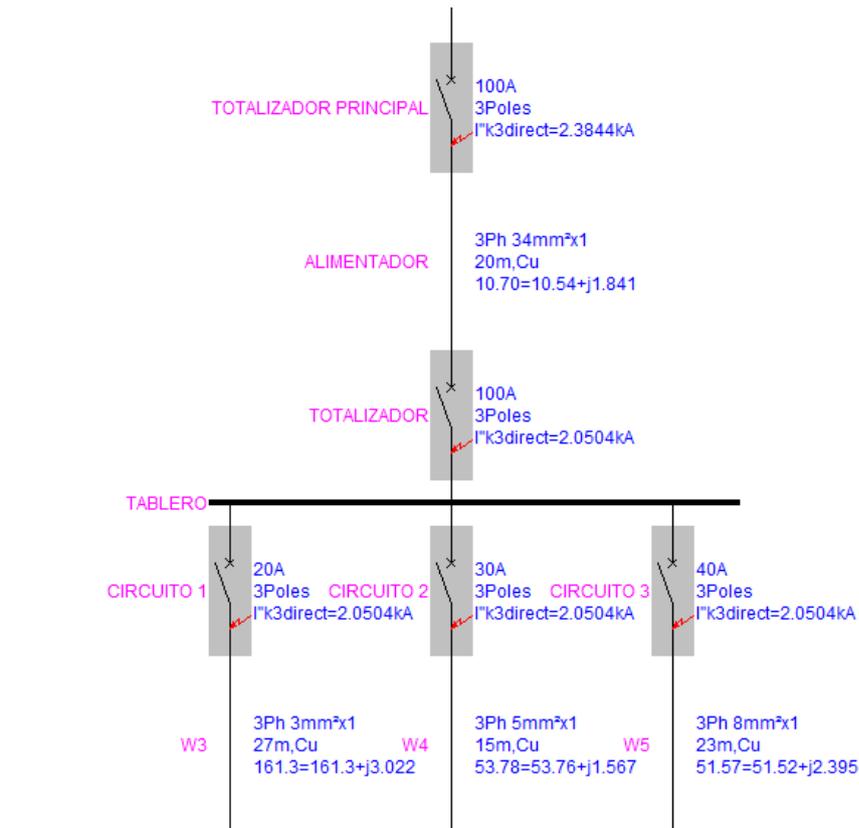


Figura 11 Corrientes de falla del circuito.

4.3.4.2 Calculo utilizando Software LSPS de LS.

La parametrización del diagrama unifilar en el software LSPS es muy similar a la parametrización del software Melshort, solo varia un poco la interfaz gráfica; por tanto, en la Figura 12 se muestra los resultados obtenidos al montar un sistema similar al simulado en el numeral anterior, en donde es posible identificar que la corriente de falla es de 2.18 kA.

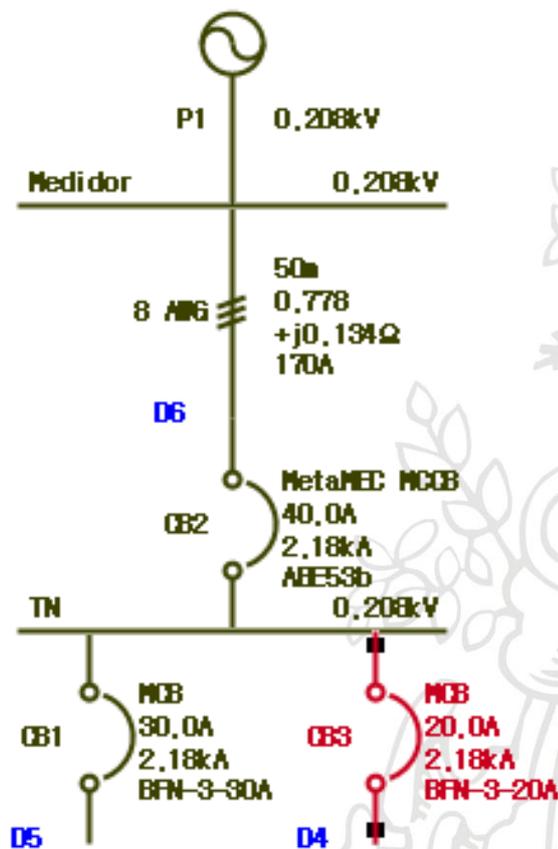


Figura 12 Solución de corriente de falla software LS.

4.4 Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.

4.4.1 Descripción.

Según el anexo general reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE, emitido el 30 de agosto de 2013, “la evaluación o análisis de nivel de riesgo por descargas atmosféricas, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida de suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o grave daño de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo para la zona tropical, donde está ubicada Colombia y las medidas de protección que le mitiguen el riesgo, por tanto debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2, de reconocimiento internacional o la NTC 4554-2”[2].

4.4.2 Objetivo.

El objetivo principal de realizar una evaluación de riesgos frente a descargas atmosféricas es clasificar el tipo de instalación a la cual se le está realizando el diseño, asignándole cierto nivel de riesgo y dependiendo de este se toman ciertas medidas para tratar de mitigarlos.

4.4.3 ¿Cuándo Aplica?

Según el anexo general reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE, emitido el 30 de agosto de 2013, deben contar con una evaluación de riesgo por rayo, la instalaciones de uso final donde se tengan alta concentración de personas, tales como edificios de viviendas multifamiliares, edificios de oficinas, hoteles, centros de atención médica, lugares de culto, centros educativos, centros comerciales, industrias, supermercados, parques de diversión, prisiones aeropuertos, cuarteles, salas de juzgado, salas de baile o diversión, gimnasios, restaurantes, museos, auditorios, boleras, salas de clubes, salas de conferencia, salas de exhibición, salas de velación, lugares de espera de medios de transporte masivo. Igualmente aplica a edificaciones aisladas, edificaciones con altura que sobresalgan sobre las de su entorno y donde se tenga conocimiento de alta densidad de rayos” [2].

4.4.4 Desarrollo.

4.4.4.1 Análisis de riesgo ante descargas atmosféricas.

Para ilustrar al lector acerca de la elaboración de un análisis de nivel de riesgo ante descargas atmosféricas, se tomará como guía una bodega que se encuentra ubicada en zona rural de Girardota Antioquia.

Mediante el procedimiento recomendado en la norma técnica colombiana NTC 4552-2, la cual a la vez está basada en la norma internacional IEC 62305 cuyo objeto es la protección contra descargas atmosféricas, se evalúa el riesgo debido al impacto de rayos en una estructura o en sus acometidas de servicio.

Para esto, mediante la caracterización de la estructura a proteger mediante parámetros dados en la norma, se determina para esta un límite de riesgo superior tolerable, de tal modo que, al seleccionar las medidas de protección apropiadas, el riesgo ante el impacto de un rayo deberá ser inferior al límite establecido.

La evaluación se efectúa haciendo uso de la guía digital “IEC Risk Assessment Calculator Versión 3.0.3” la cual está fundamentada en la norma internacional IEC 62305-2.

Nivel ceraunico y densidad de descargas a tierra.

Nivel Ceraunico

Nivel ceraunico (NC) es un parámetro característico de una zona geográfica e incide directamente en la evaluación del nivel de riesgo. Se define como el número promedio de días al año en los que hay tormenta en el lugar específico al cual se le asocia.

El NC para el municipio de Girardota y zonas aledañas es de 240 días tormentosos al año, acorde al mapa de ISO-Niveles ceraunicos que se muestra en la Figura 13 para Colombia desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia e Interconexión Eléctrica S.A. ESP.

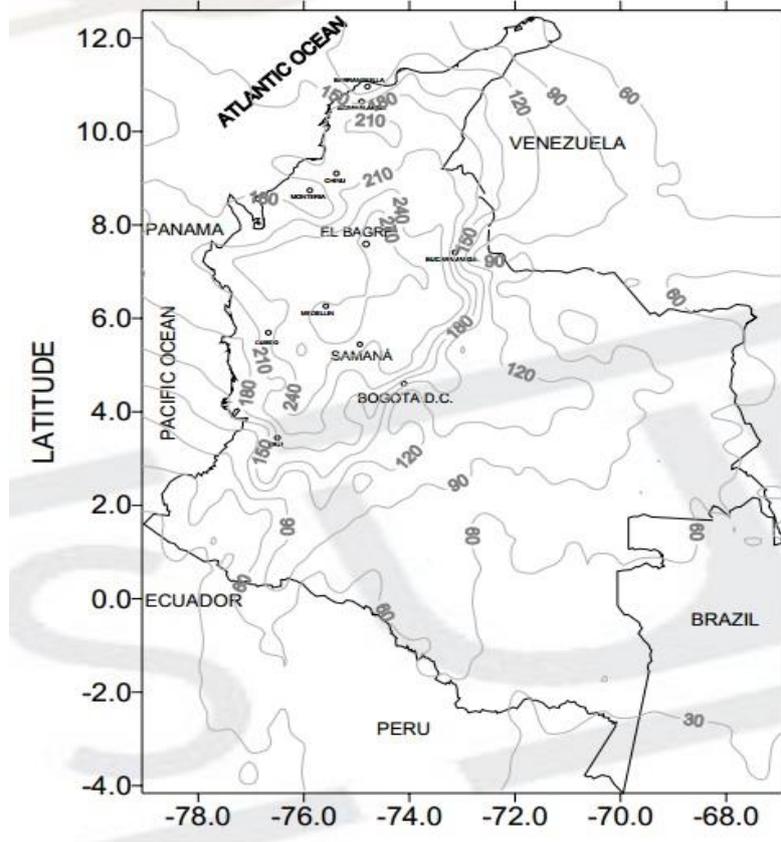


Figura 13 Mapa de ISO-Niveles ceraunicos para Colombia (Área de 30 km x30 km) – 1999.

Densidad de descargas a tierra (DDT)

Es el número de rayos que impactan en tierra por kilómetro cuadrado en un año. Es un parámetro complementario al Nivel Ceraunico que permite cuantificar la incidencia de rayos en la zona.

Para Colombia el DDT se calcula en función del nivel ceraunico conforme a la siguiente expresión:

$$DDT = 0,0017NC^{1,56}$$

De modo que, para el caso de las estructuras ubicadas en la bodega, se considerará el valor para el DDT en **8.8 rayos/Km² – año**, resultado de la siguiente operación matemática

$$DDT = 0,0017 * 240^{1,56} = 8.8 \frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2} - \text{año}$$

Evaluación del Nivel de Riesgo

A continuación, se desarrollará la evaluación del nivel de riesgo de la estructura que se desea proteger contra descargas atmosféricas.

Estructura en estudio.



Figura 14. Panorámica de edificación en estudio.



Figura 15. Panorámica de edificación en estudio.

Para la caracterización de la estructura a proteger, en el IEC Risk Assessment Calculator, se tienen las siguientes consideraciones.

Dimensiones aproximadas:

- Largo: 34 m
- Ancho: 30 m
- Altura de terraza principal: 11 m (medidos desde el piso hasta el punto de menor altura del techo)
- Altura máxima encontrada: 14 m (desde nivel de piso hasta el punto más alto del techo)

Características del entorno:

- Es una estructura con altura similar a las edificaciones vecinas.
- El entorno es Rural

Tipo de estructura:

- Estructura en concreto y mampostería.
- Poco inflamable.
- Pasamanos metálicos.

Líneas de servicio de energía que ingresan a la estructura:

- Energía:
 - Ingreso del alimentador de energía en forma subterránea.

- Cables aislados.
- Posee transformador.

Posibles afectaciones por el impacto de una descarga atmosférica:

- En caso de presentarse un incidente de fuego o sobretensiones
 - No alberga alta concentración de personas por tanto es de fácil evacuación.
 - No afecta equipos delicados como ascensores o equipos electrónicos de tipo hospitalario.
 - La pérdida de funcionamiento en el servicio de energía es tolerable.
 - No se presentaría la pérdida de patrimonios culturales irremplazables.
 - Genera pérdida económica a un patrimonio de carácter privado.
 - No contiene químicos o agentes que generen contaminación crítica al medio ambiente.
 - Se considera que un incidente que genere riesgo de pérdida económica será tolerable si se presenta a lo sumo 1 en cada mil años.

The screenshot shows a software interface for characterizing a structure to be protected. It is organized into several sections:

- Structure's Dimensions:** Includes input fields for Length of structure (m): 34, Width of structure (m): 30, Height of roof plane (m): 11, Height of highest roof protrusion (m)*: 14, and Equivalent area (m2): 8.667 m2.
- Structure's Attributes:** Includes dropdown menus for Risk of fire or physical damage: Ordinary, Structure screening effectiveness: Average, and Internal wiring type: Screened.
- Environmental Influences:** Includes dropdown menus for Location relative to surroundings: Similar in height, Location density (service line density): Rural, Number thunderdays: 88 days/year, Equivalent annual flash density: 8.8 flashes/km2, and a View isokeraunic map button.
- Conductive Service Lines:** Divided into Power Line, Other Overhead Services, and Other Underground Services. Each has dropdown menus for Type of service to the structure, Type of external cable, and Presence of MV / LV transformer.
- Protection Measures:** Includes dropdown menus for LPS type: No protection, Fire protection level: No measures, and Surge protection: No protection.
- Loss Categories:** Divided into four categories:
 - Category 1 - Loss of Human Life:** Special hazards to life: Low panic level, Life loss due to fire: Other structures, Life loss due to overvoltages: No safety critical systems.
 - Category 2 - Loss of Essential Services:** Services lost due to fire: No service exist, Services lost due to overvoltages: No service exist.
 - Category 3 - Loss of Cultural Heritage:** Cultural heritage lost due to fire: No heritage value.
 - Category 4 - Economic Loss:** Special economic hazards: No special hazards, Economic loss due to fire: Other structures, Economic loss due to overvoltage: Other structures, Step - touch potential loss factor: No shock risk, Tolerable risk of economic loss: 1 in 1,000 yrs.

Figura 16. Caracterización de la estructura a proteger

Límites tolerables de riesgo

A partir de la caracterización de la estructura se obtuvieron los límites tolerables de riesgo que serán la base para la clasificación del nivel de protección requerido:

- Riesgo de pérdida de vida humana: Loss of Human Life
- Riesgo de servicios esenciales: Loss of Essential Services
- Riesgo de pérdida de patrimonio cultural: Loss of Cultural Heritage
- Riesgo de pérdidas económicas: Economic Loss

	Tolerable Risk (Rt)
Loss of Human Life:	1,00E-05
Loss of Essential Services:	1,00E-03
Loss of Cultural Heritage:	1,00E-03
Economic Loss:	1,00E-03

Figura 17. Límites tolerables de Riesgo.

El cálculo del riesgo para cada una de las cuatro categorías deberá ser inferior a los valores mostrados en la Figura 17. De manera gráfica se puede identificar en el desarrollo de los cálculos, las categorías que cumplen con la condición al presentarse de color verde en la columna "Calculated Risk (R)" y de color rojo las que no cumplen, es decir aun exceden el límite tolerable de riesgo. Ejemplo:

Calculated Risks:	Tolerable Risk (Rt)	Direct Strike Risk (Rd)	Indirect Strike Risk (Ri)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life:	1,00E-05 =>	7,67E-06	+ 2,57E-06	= 1,02E-05
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 =>	3,81E-06	+ 9,00E-05	= 9,38E-05

Figura 18. Ejemplo manera gráfica de identificar los riesgos que exceden los límites tolerables.

Cálculo de Riesgo sin Protección

En la Figura 19 se presenta el cálculo del riesgo para la estructura sin implementar protección externa (LPS type), Protección contra fuego (Fire protection level) y protección contra sobretensiones (Surge protection).

Se evidencia que el riesgo de pérdida de vidas humanas excede los límites tolerables.

Structure's Dimensions:

Length of structure (m): 34

Width of structure (m): 30

Height of roof plane (m): 11

Height of highest roof protrusion (m)*: 14

* Measured from the ground

Equivalent area (m2): 8,667 m2

Conductive Service Lines:

Power Line:

Type of service to the structure: Buried cable

Type of external cable: Unscreened

Presence of MV / LV transformer: Transformer

Other Overhead Services:

Number of conductive services: 0

Type of external cable: Screened

Other Underground Services:

Number of conductive services: 0

Type of external cable: Unscreened

Loss Categories:

Category 1 - Loss of Human Life:

Special hazards to life: Low panic level

Life loss due to fire: Other structures

Life loss due to overvoltages: No safely critical systems

Category 2 - Loss of Essential Services:

Services lost due to fire: No service exist

Services lost due to overvoltages: No service exist

Category 3 - Loss of Cultural Heritage:

Cultural heritage lost due to fire: No heritage value

Category 4 - Economic Loss:

Special economic hazards: No special hazards

Economic loss due to fire: Other structures

Economic loss due to overvoltage: Other structures

Step - touch potential loss factor: No shock risk

Tolerable risk of economic loss: 1 in 1,000 yrs

Structure's Attributes:

Risk of fire or physical damage: Ordinary

Structure screening effectiveness: Average

Internal wiring type: Screened

Environmental Influences:

Location relative to surroundings: Similar in height

Location density (service line density): Rural

Number thunderdays: 88 days/year

Equivalent annual flash density: 8.8 flashes/km2

View isokeraunic map: View Map

Protection Measures:

LPS type: No protection

Fire protection level: No measures

Surge protection: No protection

Calculated Risks:	Tolerable Risk (Rt)	Direct Strike Risk (Rd)	Indirect Strike Risk (Ri)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life:	1,00E-05 =>	7,67E-06	+ 2,57E-06	= 1,02E-05
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 =>	3,81E-06	+ 9,00E-05	= 9,38E-05

IEC 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.

Figura 19. Cálculo del riesgo sin protección.

Cálculo de Riesgo con protección NIVEL IV

En la Figura 20 se presenta el cálculo de implementar una protección externa de NIVEL IV.

The screenshot shows the IEC lightning risk assessment calculator interface. It is divided into several sections for inputting data and displaying results.

Structure's Dimensions:

- Length of structure (m): 34
- Width of structure (m): 30
- Height of roof plane (m)*: 11
- Height of highest roof protrusion (m)*: 14
- * Measured from the ground
- Equivalent area (m2): 8,667 m2

Structure's Attributes:

- Risk of fire or physical damage: Ordinary
- Structure screening effectiveness: Average
- Internal wiring type: Screened

Environmental Influences:

- Location relative to surroundings: Similar in height
- Location density (service line density): Rural
- Number thunderdays: 88 days/year
- Equivalent annual flash density: 8,8 flashes/km2
- View isokeraunic map: View Map

Conductive Service Lines:

Power Line:

- Type of service to the structure: Buried cable
- Type of external cable: Unscreened
- Presence of MV / LV transformer: Transformer

Other Overhead Services:

- Number of conductive services: 0
- Type of external cable: Screened

Other Underground Services:

- Number of conductive services: 0
- Type of external cable: Unscreened

Protection Measures:

- LPS type: Level IV - 84%
- Fire protection level: No measures
- Surge protection: No protection

Loss Categories:

Category 1 - Loss of Human Life:

- Special hazards to life: Low panic level
- Life loss due to fire: Other structures
- Life loss due to overvoltages: No safety critical systems

Category 2 - Loss of Essential Services:

- Services lost due to fire: No service exist
- Services lost due to overvoltages: No service exist

Category 3 - Loss of Cultural Heritage:

- Cultural heritage lost due to fire: No heritage value

Category 4 - Economic Loss:

- Special economic hazards: No special hazards
- Economic loss due to fire: Other structures
- Economic loss due to overvoltage: Other structures
- Step - touch potential loss factor: No shock risk
- Tolerable risk of economic loss: 1 in 1,000 yrs

Calculated Risks:

	Tolerable Risk (Rt)		Direct Strike Risk (IRd)	+	Indirect Strike Risk (IRi)	=	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life:	1,00E-05	=>	1,56E-06	+	2,57E-06	=	4,13E-06
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	=>	3,81E-06	+	9,00E-05	=	9,38E-05

IEC

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 20. Cálculo con protección externa de Nivel IV

Conclusión.

El resultado de la evaluación del nivel de riesgo frente a rayos para la bodega indica que la estructura debe contar con un sistema de protección externa de NIVEL IV.

4.5 Análisis de riesgo de eléctrico y medidas para mitigarlos.

4.5.1 Descripción.

Tal como se estipula en el anexo general de RETIE en su artículo 9, la utilización y dependencia tanto industrial como residencial de la energía eléctrica, ha traído consigo la aparición de accidentes por contacto con elementos energizados o incendios, los cuales se han incrementado por el aumento del número de instalaciones.

Es por esta razón que se hace de suma importancia la elaboración de una evaluación de riesgos eléctricos, en dicha evaluación es importante tener en cuenta que una instalación eléctrica es de inminente peligro o de alto riesgo, cuando carezca de las medidas de protección frente a condiciones donde se comprometa la salud o la vida de las personas, tales como: ausencia de electricidad, arco eléctrico, contacto directo e indirecto con partes

energizadas rayos, sobretensiones, sobrecargas, cortocircuitos, tensiones de paso, contacto y transferencia que exceda los niveles permitidos por el RETIE.

4.5.2 Objetivo.

El objetivo de realizar un análisis de riesgo eléctrico es dar una calificación a la instalación a la cual se le hace el diseño y según la calificación obtenida tomar las medidas respectivas para asegurar así el bienestar e integridad de las personas que se encuentran al interior de la instalación y en interacción con cada uno de los elementos que componen una red eléctrica de uso final.

4.5.3 ¿Cuándo Aplica?

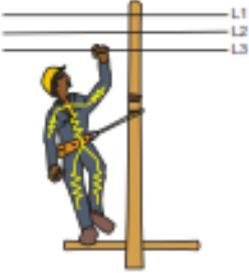
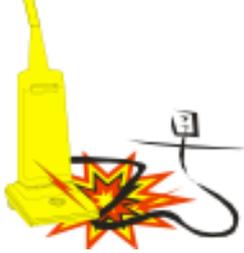
Aplica siempre, esto debido a que ninguna instalación eléctrica está libre de accidentes que estén relacionados con el uso de la electricidad, entre los posibles accidentes que se presentan en una instalación se encuentran el arco eléctrico, ausencia de electricidad, contacto directo e indirecto, cortocircuito, electricidad estática, equipo defectuoso, rayos, sobrecarga, tensiones de contacto y de paso.

4.5.4 Desarrollo.

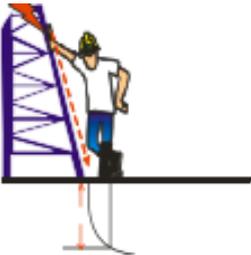
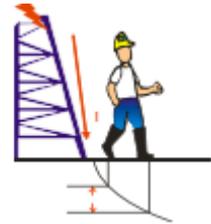
A continuación, en la Tabla 8 se ilustran los principales factores de riesgo de origen eléctrico y las medidas de protección que se deben adoptar para minimizar dicho riesgo, (Fuente tabla 9,5 RETIE 2013).

Tabla 8. Tabla de factores de riesgo, posible causas y medidas de protección [2].

	<p>ARCOS ELÉCTRICOS,</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores con carga, apertura de transformadores de corriente, apertura de transformadores de potencia con carga sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar prendas acordes con el riesgo y gafas de protección contra rayos ultravioleta.</p>
---	--

	<p>AUSENCIA DE ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Apagón o corte del servicio, no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia - UPS, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia, Por ejemplo: Lugares donde se exijan plantas de emergencia como hospitales y aeropuertos</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.</p>
	<p>CONTACTO DIRECTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos, violación de las distancias mínimas de seguridad.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento.</p>
	<p>CONTACTO INDIRECTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.</p>
	<p>CORTOCIRCUITO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.</p>

	<p>ELECTRICIDAD ESTÁTICA</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.</p>
	<p>EQUIPO DEFECTUOSO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.</p>
	<p>RAYOS</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados, Además suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.</p>
	<p>SOBRECARGA</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos, no controlar el factor de potencia.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Uso de Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.</p>

	<p>TENSIÓN DE CONTACTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>
	<p>TENSIÓN DE PASO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>

Atendiendo las recomendaciones de la tabla anterior se realiza un análisis a los factores de riesgo a los que pueda estar expuesta la instalación objeto de estas memorias de cálculo como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Factores de riesgo, electrocución y medidas para mitigarlos [1].

Factor de riesgo	Evento	Fuente	Medidas para mitigarlo
Contacto directo	Electrocución	Tableros, gabinetes de distribución y salidas eléctricas	<ol style="list-style-type: none"> 1, No dejar partes energizadas expuestas, usar frente muerto en tablero de distribución. 2, Respetar las distancias de seguridad y de trabajo especificadas según el nivel de tensión. 3, Aislamiento de los equipos adecuado de acuerdo al nivel de tensión
Contacto indirecto	Electrocución	Elementos metálicos y salidas eléctricas	<ol style="list-style-type: none"> 1, Cumplir con las distancias mínimas de seguridad y espacios de trabajo según el nivel de tensión. 2, Todos los elementos metálicos deben estar puestos eficazmente a tierra por medio del conductor de puesta a tierra.

Factor de riesgo	Evento	Fuente	Medidas para mitigarlo
Sobrecarga	Cortocircuito e incendio	Cargas eléctricas	1, Adecuado dimensionamiento de conductores. 2, Adecuado dimensionamiento de protecciones termomagnética contra sobrecorrientes, teniendo en cuenta el calibre y la capacidad de corriente del conductor y equipos a proteger.

Atendiendo las recomendaciones dadas en la Tabla 9 para mitigar los riesgos eléctricos se obtienen niveles de riesgo óptimos para la operación y funcionamiento de las instalaciones eléctricas a las que hacen referencia estas memorias de cálculo. Se busca mediante estas medidas de prevención que los efectos ante un evento tengan consecuencias de nivel máximo 2 y frecuencia E, C o D, garantizando que la instalación cumple con los requerimientos de seguridad ante riesgo eléctrico establecidos en el artículo 9 del RETIE.

En las siguientes tablas se analizan varios casos de riesgo eléctrico para la instalación, tomando como referencia los cuadros de análisis brindados por el RETIE como se muestra en la Figura 21 y en la Figura 23.

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	ALTO	MUY ALTO
Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: _____ MP: _____ Fecha: _____

Figura 21. Ejemplo de cuadro de análisis de riesgo eléctrico, tomado del Retie [2].

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.

Figura 22. Clasificación de nivel de riesgo, tomado del RETIE [2].

A continuación, en la Tabla 10 se muestra el análisis del riesgo que representa, la instalación eléctrica en diseño, para las personas que están en interacción con la misma ante una electrocución por contacto directo con tablero de distribución y salidas eléctricas.

Tabla 10. Análisis de riesgo para electrocución por contacto directo con tablero de distribución y salidas eléctrica [1].

FACTOR DE RIESGO POR CONTACTO DIRECTO										
RIESGO A EVALUAR	Electrocución POR Evento o efecto		Contacto directo EN Factor de Riesgo			Tableros de distribución y salidas eléctricas Fuente				
	POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	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) E2	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción. E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: _____ MP: _____ Fecha: _____

La Tabla 11 muestra el resumen de los resultados obtenidos al analizar el riesgo eléctrico de la instalación.

Tabla 11 Resultados del análisis de riesgo para electrocución por contacto directo con tablero de distribución y salidas eléctrica [1].

Resumen			
	Frecuencia	Consecuencia	Riesgo
Personas	E	2	BAJO
Económicas	E	1	MUY BAJO
Ambientales	E	1	MUY BAJO
Imagen Empresa	E	1	MUY BAJO
NIVEL DE RIESGO			BAJO

En la Tabla 12 se muestra el análisis del riesgo que representa la instalación eléctrica en diseño, para las personas que están en interacción con la misma, ante una electrocución por contacto indirecto con partes metálicas y salidas eléctricas.

Tabla 12. Análisis de riesgo para electrocución por contacto indirecto con partes metálicas y salidas eléctricas [1].

FACTOR DE RIESGO POR CONTACTO INDIRECTO										
RIESGO A EVALUAR	<u>Electrocución</u> Evento o efecto	POR	<u>Contacto Indirecto</u> EN Factor de Riesgo	<u>Partes metálicas y salidas eléctricas</u> Fuente						
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	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
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral) E1	Daños leves. No interrupción. E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
Evaluador:					MP:			Fecha:		

La Tabla 13 muestra el resumen de los resultados obtenidos al analizar el riesgo eléctrico de la instalación.

Tabla 13 Resultados del análisis de riesgo para electrocución por contacto indirecto con partes metálicas y salidas eléctricas [1].

Resumen			
	Frecuencia	Consecuencia	Riesgo
Personas	E	1	MUY BAJO
Económicas	E	1	MUY BAJO
Ambientales	E	1	MUY BAJO
Imagen Empresa	E	1	MUY BAJO
NIVEL DE RIESGO			MUY BAJO

En la Tabla 14 se muestra el análisis del riesgo que representa la instalación eléctrica en diseño, para las personas que están en interacción con la misma, ante una sobrecarga del sistema.

Tabla 14. Análisis de riesgo eléctrico por sobrecarga [1].

FACTOR DE RIESGO POR SOBRECARGAS										
RIESGO A EVALUAR	Corto circuito e incendio		Sobrecarga		Circuitos o salidas eléctricas					
	Evento o efecto	POR	EN	Factor de Riesgo	Fuente					
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	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 E2	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral) E1	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
Evaluador:		MP:			Fecha:					

La Tabla 13 muestra el resumen de los resultados obtenidos al analizar el riesgo eléctrico de la instalación.

Tabla 15 Resultados del análisis de riesgo eléctrico por sobrecarga [1].

Resumen			
	Frecuencia	Consecuencia	Riesgo
Personas	E	1	MUY BAJO
Económicas	E	2	BAJO
Ambientales	E	1	MUY BAJO
Imagen Empresa	E	1	MUY BAJO
NIVEL DE RIESGO			BAJO

4.6 Análisis de nivel de tensión requerido.

4.6.1 Descripción.

Al momento de llevar a cabo el diseño de una instalación eléctrica de uso final en baja tensión, es de suma importancia tener claridad sobre la tensión nominal de operación de las cargas a alimentar, porque de esta variable se depende uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, a la hora de diseñar, como lo es el aislamiento eléctrico y tensión nominal del barraje principal o tablero general de distribución.

4.6.2 Objetivo.

El objetivo principal de seleccionar el nivel de tensión requerido es brindar a las cargas a alimentar las condiciones óptimas de operación.

4.6.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que toda instalación eléctrica debe tener claramente definido la tensión nominal de la carga.

4.6.4 Desarrollo.

Debido a que el nivel de tensión requerido está directamente relacionado con el nivel de tensión nominal de operación de las cargas a alimentar, para seleccionar el nivel de tensión de la instalación en diseño, basta con dar un breve análisis a los datos de placa

de los elementos que se conectaran a la instalación, para seleccionar de forma apropiada el nivel de tensión y el tipo de sistema que se necesita.

Para el objeto de estudio de estas memorias, las tensiones nominales de operación del sistema se reduce tensiones de 120/240V, para sistemas monofásicos tetrafilares y 120/208V, para sistemas trifásicos. Los sistemas trifásicos se utilizan generalmente si la carga a alimentar demanda un sistema de este tipo.

4.7 Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se supere los niveles de exposición definidos en la tabla 14.1.

4.7.1 Descripción.

El anexo general del RETIE en su artículo 14, establecen los valores de máxima intensidad de campo eléctrico y densidad de flujo magnético en baja frecuencia, para las zonas donde puedan permanecer personas, independientemente del tiempo de permanencia, los cuales están basados en los criterios de la OMS y la institución para la protección de la población y el medio ambiente, frente a las radiaciones no ionizantes. El cálculo de campos electromagnéticos no es más que una serie de cálculos matemáticos basados en la teoría de la física de campos, con el fin de hallar el valor de intensidad de campo eléctrico y densidad de campo magnético que se derivan del nivel de tensión de operación y la corriente del circuito en estudio respectivamente. Debido a que el proceso de cálculo matemático es bastante tedioso, en la actualidad el método más utilizado para estimar los valores de E y B, es mediante la ayuda de un software de simulación, el cual por medio de procesos iterativos, en tan solo unos pocos segundos es posible identificar las variables en cuestión.

4.7.2 Objetivo.

El objetivo principal de realizar el análisis de campos electromagnéticos de una instalación es identificar los valores de intensidad de campo eléctrico y de densidad de flujo magnético, con el fin de compararlos y verificar que se encuentren por debajo de los niveles permitidos por el anexo general del RETIE en la tabla 14.1, asegurando así la seguridad de las personas que se encuentran expuestas a este tipo de radiación.

4.7.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica para instalaciones con niveles de tensión superior a 57,5 kV, como lo indica el anexo general del RETIE en su artículo 14,4; por tanto, en instalaciones de uso final en baja tensión no es necesario realizar el cálculo de campos electromagnéticos.

4.8 Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.

4.8.1 Descripción.

En algunas ocasiones cuando el operador de red no tiene la capacidad instalada necesaria para abastecer de energía la instalación a la cual se le está realizando el diseño, es necesario instalar un transformador que permita abastecerse de energía tomando derivación desde una red de media tensión, por tanto para seleccionar el transformador es necesario considerar el nivel de distorsión armónica de la carga a conectar y el factor de potencia de la misma, con el fin de que el transformador pueda suplir completamente la necesidades energéticas y eléctricas de la instalación.

4.8.2 Objetivo.

El objetivo de realizar los cálculos que permiten el correcto dimensionamiento del transformador es garantizar que se le suministre a la carga la energía necesaria y en las condiciones idóneas para el buen funcionamiento de la misma.

4.8.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre que en la instalación a diseñar se tenga contemplado la instalación de un transformador o cuando el operador de red indique que es necesario.

4.8.4 Desarrollo.

Debido a que el objeto de estas memorias de cálculo tiene como alcance instalaciones de uso final en baja tensión, no se realiza un cálculo riguroso de un transformador; sin embargo, con el fin de informar al lector de manera completa, se realiza un breve dimensionamiento previo de un transformador, calculo que sirve para hacerse una idea de la capacidad y características que puede tener un transformador con base en las cargas que se conectarán a la instalación.

Para ilustrar al lector sobre el dimensionamiento previo de la capacidad de un transformador, se tomará como ejemplo un predimensionamiento del transformador de una finca de recreo como se muestra en la Tabla 16.

El cálculo del transformador se realiza mediante el balance general de cargas y los cuadros de carga, a su vez debe tener en consideración el nivel de distorsión armónica presente en la instalación.

Tabla 16. Cálculo del transformador [1].

Análisis de Carga				
Descripción de Cargas	Cantidad	Carga instalada	FD	Carga Diversificada
Iluminación y tomas de uso general				23019 VA
Casa principal	1	37922 VA	52%	19719 VA
Casa juegos	1	3700 VA	90%	3300 VA
Cargadores Vehículos				1872 VA
Cargadores Vehículos 16A carga lenta	1	3600 VA	52%	1872 VA
Carga Instalada				45222 VA
Carga Demandada				24891 VA
Factor de demanda General				55,04%
Transformador				25000 VA
Porcentaje de carga de transformador				99,56%

De esta forma las características requeridas por el transformador son las mostradas en la Tabla 17.

Tabla 17. Características del transformador[1].

Potencia	25000 VA
Tensión	7620-240/120V
Frecuencia	60Hz
Aislamiento	ONAN
Instalación	Poste
Tipo	Monofásico

4.9 Cálculo del sistema de puesta a tierra.

4.9.1 Descripción.

Un sistema de puesta a tierra no es más que una combinación de electrodos y conductores que buscan conectar sólidamente a tierra cada una de las partes metálicas expuestas de gabinetes, electrodomésticos y dispositivos eléctricos. El diseño de un sistema de puesta a tierra está basado en el dimensionamiento adecuado del calibre, longitud, número y posicionamiento de los electrodos de puesta a tierra; adicionalmente, se debe considerar el cálculo del calibre del conductor a utilizado para la conexión de los electrodos y de la conexión del sistema de puesta a tierra con gabinetes tableros y dispositivos.

4.9.2 Objetivo.

El objetivo de un sistema de puesta a tierra es principalmente brindarle seguridad, integridad y bienestar a todos los seres vivos que se encuentran en contacto e interacción con las instalaciones eléctricas, esto se logra garantizando que las tensiones de toque y paso se encuentren por debajo de los valores permitidos por el RETIE y que a su vez se asocia a una serie de valores de resistencia de puesta a tierra recomendados por el anexo general en la tabla 15.4.

4.9.3 ¿Cuándo Aplica?

Como lo menciona el anexo general del RETIE en el artículo 15°, “ toda instalación eléctrica que le aplique el retie, excepto donde se indique expresamente lo contrario, tiene que disponer de un sistema de puesta a tierra (SPT), para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferida, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla”[2].

4.9.4 Desarrollo.

Toda instalación eléctrica debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

El valor de referencia para determinar la resistencia de puesta a tierra máxima de diseño es tomado de la tabla 15,4 del RETIE, en la Tabla 18 se ilustran los valores de referencia para diferentes tipos de instalaciones eléctricas.

Tabla 18 Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra [2].

Aplicación	Valores máximos de puesta a tierra
Estructuras de líneas de transmisión,	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión,	1 Ω
Subestaciones de media tensión,	10 Ω
Protección contra rayos,	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión,	25 Ω

Cálculo y diseño de la malla de puesta a tierra

Para el diseño fue utilizado el programa DGSys, basado en la Norma IEEE 80-2000 “Guide Safety in AC Subestación Grounding”. El valor de resistividad válido para el diseño de sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica es $\rho = 50 \Omega\text{m}$ y el criterio de asignación del diseñador se basa en múltiples medidas que se deben realizar en la zona para así obtener la resistividad de terreno promedio, el valor a considerar para efectos del ejercicio es de $\rho = 36 \Omega\text{m}$.

La configuración del sistema de puesta a tierra consistente en la ubicación de un conductor vertical (Varilla con chaqueta de cobre de 250 μm , longitud de 2,4 m y diámetro 5/8”) instalado a una profundidad de 50 cm desde nivel de piso sin acabado superficial, el cual será una capa de concreto de 15 cm cuya resistividad oscila entre 3000 y 4000 Ωm . En la Figura 23 y Figura 24 se observa la configuración recomendada.

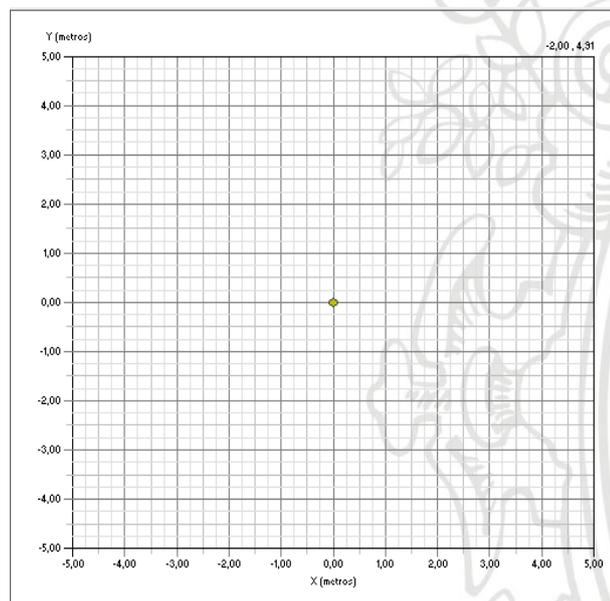


Figura 23. Configuración en planta del electrodo de puesta a tierra [1].

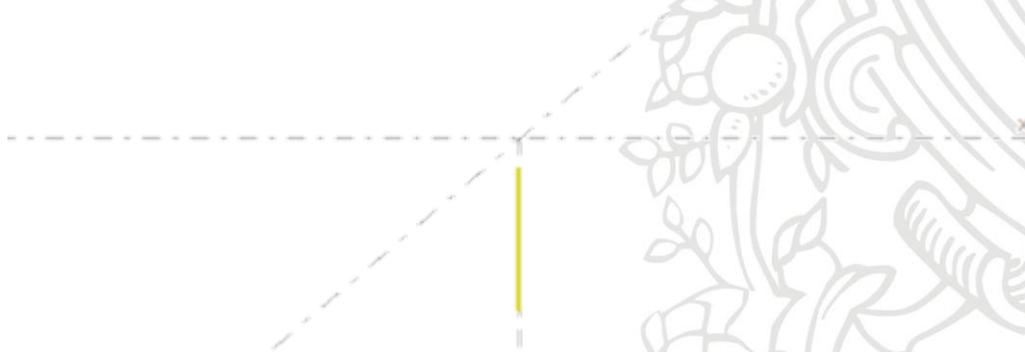


Figura 24. Configuración en perspectiva del electrodo de puesta a tierra [1].

La resistencia de puesta a tierra obtenida con la configuración dispuesta tiene un valor de 19,43 Ω , sin sobrepasar el valor de referencia para sistemas en baja tensión de la

Tabla 18 y el GPR del sistema es de 3226,33V, según la tabla de resultados generada por el programa DG Sys, como se observa en la Figura 25.

Resultados		Verificar resultados	
Características del terreno			
Resistividad de la capa superficial de protección		3500 Ohmios · metro	
Espesor de la capa superficial de protección		0,15 metro(s)	
Método de cálculo de tensiones máximas		IEEE Std 80-2000 (Paso=8934,78V / Contacto=2622,77V)	
Modelo del terreno		Uniforme	
Resistividad del suelo homogéneo		50 Ohmios · metro	
Resistividad de la capa superior			
Resistividad de la capa inferior			
Factor de reflexión			
Espesor de la capa superior			
Sistema de puesta a tierra			
Configuración geométrica		OH1V0I (Configuración definida por el usuario)	
Tipo de segmentación		Segmentos de la misma longitud	
Longitud total del electrodo (activo / pasivo)		2,400 metro(s) / No hay electrodo pasivo	
Número de segmentos total		10	
Conductores del sistema de puesta a tierra			
	Horizontales	Verticales	Inclinados
Número		1	
Radio		0,75 centímetro(s)	
Profundidad		0,5 metro(s)	
Segmentos		10	
Magnitudes de la falta y el sistema de puesta a tierra			
Tiempo de despeje de la falta		0,05 segundo(s)	
Corriente descargada a tierra por el sistema		166,00000 Amperio(s)	
Sobretensión de tierra en el electrodo (activo / pasivo)		3226,32663 Voltio(s) / No hay electrodo pasivo	
Resistencia del sistema		19,43570 Ohmio(s)	

Figura 25. Resultados obtenidos en el entorno DG Sys[1].

Para el cálculo de la corriente que debería disipar el electrodo de sistema de puesta a tierra, se hace uso de información histórica de fallas eléctricas en la zona de influencia de la instalación, para sistemas multiaterrizados como el del operador de red. En la Tabla 14 se presenta los valores de referencia y resultados obtenidos

Tabla 14 Corriente disipada por la malla [1].

RESISTENCIA S,P,T		19,44
CALCULO DE CORRIENTE DE FALLA		
DATOS DE CONEXIÓN		
Tiempo de Despeje de la Falla t_f	seg	0,050
Temperatura Máxima de Operación	°C	450
Temperatura Ambiente	°C	25
DATOS DE CORRIENTE DE FALLA		
Corriente de Falla a Tierra I_f Lado MT	A	10160
Corriente de Falla a Tierra I_f Lado BT	A	185
Relación X/R del Sistema	-	1,25
Factor de Decremento D_f	-	1,033
Corriente de Diseño de los Conductores (Lado de Mayor I_f)	A	10491
Cantidad de postes de distribución de la línea de MT por km N_t	-	42
Resistencia de puesta a tierra de las torres de AT R_{tg}	W	15
Impedancia de los cables de guarda Z_l	W/km	0,2723
Cantidad de cables de guarda en la línea de MT N_c	-	1
Impedancia equivalente de los cables de guarda y torres Z_{eq}	W	0,312
Factor Divisor de Corriente S_f (depende de R_g)	%	0,016
Corriente de Diseño del Espaciamiento I_G (Lado AT)	A	166

La corriente que disipará la malla según los cálculos es de 166 A, la sección mínima del conductor a utilizar es de 10,705 mm² considerando un tiempo de despeje de falla de 50 ms, de acuerdo con las indicaciones de la norma ANSI/IEEE 80, Se selecciona una varilla de 5/8 de diámetro cuya área de 249 mm² es superior al área mínima calculada y a la recomendada en el RETIE (50 mm²) para contrarrestar los esfuerzos mecánicos a los cuales se sometería el conductor en caso de una falla eléctrica.

Perfiles de tensión

Con objeto de conocer las tensiones de paso, contacto y transferidas que se pueden presentar en el sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica, se muestra el perfil de tensión analizado en el software y mediante el cual se corrobora el cumplimiento del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.

En la Figura 26 y Figura 27 se ilustran los parámetros de configuración y los perfiles de tensión obtenidos, corroborando que las tensiones de paso y contacto esperadas son inferiores a las máximas tensiones admisibles.

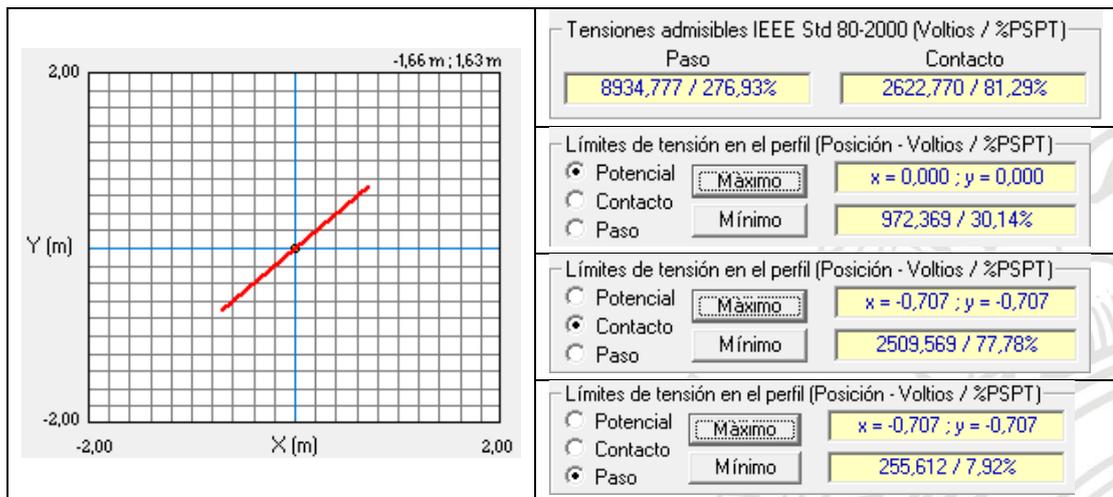


Figura 26 Configuración para determinar los perfiles de tensión [1].

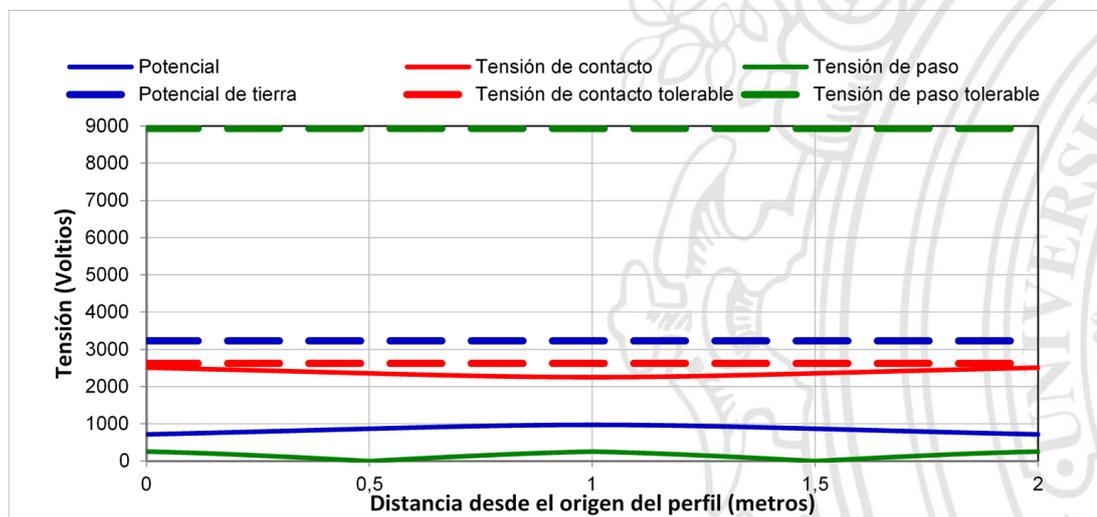


Figura 27. Perfil de tensión de la malla de puesta a tierra de la instalación [1].

4.10 Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de energía.

4.10.1 Descripción.

El cálculo económico de los conductores es el cálculo por medio del cual se estima el valor económico que tienen las pérdidas de energía del conductor, generados principalmente por el efecto joule a través de la vida útil de la instalación; en instalaciones de uso final no se considera necesario el cálculo económico de conductores, debido a las pequeñas distancias que recorren los circuitos ramales y bajos niveles de corriente que circulan por los mismos.

NOTA: en algunas instalaciones industriales en donde se tienen grandes densidades de carga se hace necesario considerar el cálculo económico del conductor.

4.10.2 Objetivo.

El objetivo principal del cálculo económico del conductor es, como su nombre lo indica, netamente económico y con el fin de seleccionar el conductor idóneo y que durante su vida útil represente un menor costo para la ejecución y operación de la instalación eléctrica que se esté diseñando.

4.10.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica principalmente en instalaciones eléctricas en donde se tengan circuitos de largas distancias y corrientes de gran magnitud, como lo son líneas de transmisión y circuitos de distribución en donde una óptima selección económica del conductor a utilizar puede significar grandes ahorros económicos.

4.11 Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma iec 60909, ieee 242, capítulo 9 o equivalente.

4.11.1 Descripción.

En este cálculo se busca encontrar el área transversal mínima que debe tener los conductores que componen cada una de las etapas de la instalación eléctrica en diseño, tanto desde acometida hasta circuitos ramales, para que cada uno de ellos pueda soportar los esfuerzos eléctricos a los que se somete el sistema en caso de generarse una sobrecorriente por lo menos durante el tiempo que tarde las protecciones de sobrecorriente en aislar el tramo del sistema que se encuentra en condición de falla.

4.11.2 Objetivo.

El objetivo principal de esta verificación es tener la certeza de que los conductores utilizados en la instalación eléctrica en cuestión, se comportan de manera satisfactoria y segura durante una eventualidad de sobrecorriente, asegurándose así que se mantenga la integridad y seguridad tanto del bien material como la de las vidas humanas que permanecen al interior de la misma.

4.11.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que toda instalación eléctrica debe contar con protecciones contra sobrecorrientes, protecciones que no actúan de manera instantánea si no que por el contrario dependen de una curva característica de tiempo inverso, por tanto es importante

siempre garantizar que los conductores que se derivan de dichas protecciones, puedan soportar durante tiempo en el que tarda la protección en actuar los esfuerzos eléctricos a los que se encuentran sometidos mientras circulan corrientes de gran magnitud a través de ellos.

4.11.4 Desarrollo.

La selección mínima que debe tener el conductor debido a la corriente de cortocircuito se determina a partir de la siguiente expresión.

$$S = \frac{I_{cc} * \sqrt{t}}{K} (mm^2)$$

Donde:

S: Sección del conductor en [mm^2]

I_{cc}: Corriente de corto circuito esperada [**A**]

T: Tiempo de despeje de la falla [**s**]

K: Factor de temperatura depende del aislante y material del conductor, para conductores de cobre con aislantes en PVC y temperatura de operación de 60 °C; **K = 115**

Para efectos del ejercicio se asume un nivel de corto circuito en las barras del Tablero de distribución es de **I_{cc} = 3390 A** y se espera un despeje de la falla de las protecciones de 30ms a partir de **I_{cc} = 3390 A**, por lo tanto, la sección mínima de la acometida y los alimentadores debe ser:

$$S = \frac{3390 * \sqrt{0,03}}{115} = 5,1(mm^2)$$

Obteniendo una sección mínima de 5,10 mm^2 la cual corresponde a un conductor número 10 AWG, conclusión que se obtiene de comparar el área transversal de cada calibre de conductor en la Tabla 310.16 de la NTC 2050.

4.12 Calculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.

4.12.1 Descripción.

El cálculo mecánico de las estructuras es aquel proceso en el cual se dimensionan las estructuras y elementos de sujeción requeridos para soportar los esfuerzos mecánicos a los que estarán expuestos al soportar o sostener una red conformada por un tendido de conductores.

4.12.2 Objetivo.

El objetivo de este cálculo es garantizar que, durante la vida útil de la instalación eléctrica a diseñar, las estructuras que soportan el peso de los conductores y equipos que componen la misma, cumplan completamente su función si romperse ni deteriorarse de manera prematura.

4.12.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica generalmente en instalaciones de uso final en baja tensión donde se vea involucrado redes eléctricas en postes; aunque en instalaciones de uso final también se utilicen elementos como bandejas porta cables, ductos y grapas para sujeción de ductos, el cálculo no se hace necesario debido a que el fabricante de dichos elementos indican la distancia a la cual se debe fijar dichos elementos, con el fin de que cada sección de las mismas no se encuentre expuesta a esfuerzos superiores de los cuales están diseñadas.

Es importante mencionar que el cálculo de estructuras es de suma importancia en redes de distribución en transmisión, en donde la finalidad principal de la instalación es el transporte de la energía eléctrica y no el uso final de la misma.

4.13 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según iec 60947-2 anexo a.

4.13.1 Descripción.

Como se mencionó en el literal 4.12, las protecciones de sobrecorriente de las instalaciones eléctricas tienen asociada, cada una de ellas, una curva característica de disparo corriente vs tiempo, dichas curvas deben ser coordinadas de tal forma que en caso de que ocurra una falla en el sistema, las protecciones actúen con eficacia, velocidad, seguridad y, muy importante, con selectividad. Al realizar una coordinación selectiva de las protecciones, se busca de que en caso de falla, las protecciones actúen de forma que las primeras protecciones que actúen, sean las protecciones que se encuentran más próximas, asegurándose así que se vea afectado la más mínima parte del sistema, manteniendo así los niveles de confiabilidad del mismo.

4.13.2 Objetivo.

El objetivo de realizar la coordinación de las protecciones de sobrecorriente, es brindarle a la instalación altos niveles de confiabilidad, brindándole al diseño una selectividad en la forma en que actúan las protecciones en el momento de ocurrencia de una falla.

4.13.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que toda instalación eléctrica que se encuentre regida por el anexo general del RETIE, debe contar con un sistema de protección contra sobrecorrientes; por tanto, al tener protecciones conectadas en cascada, deben estar coordinadas de tal modo que se pueda asegurar la selectividad de actuación de las mismas en caso de una eventual falla.

4.13.4 Desarrollo.

Para calcular las protecciones de sobrecorriente de una instalación eléctrica de uso final en baja tensión, se deben considerar el comportamiento del sistema, tanto en estado estable como también en estado transitorio, con el objetivo de garantizar que las protecciones cumplan de manera satisfactoria su labor sin ver afectada la confiabilidad y seguridad de la instalación eléctrica en diseño.

Estado estable.

Para seleccionar la protección o interruptor automática del sistema en estado estable se debe saber dos cosas: la potencia nominal de la carga que se desea proteger y el voltaje de operación. Con esta información, es posible estimar la corriente nominal de la carga. Luego de tener identificado el valor que puede tomar esta variable, se selecciona el interruptor escogiendo la protección inmediatamente por encima que se encuentre en el mercado, por ejemplo, si se tiene una carga que demande 17 A, la protección idónea que en estado estable opera correctamente con esta carga sería una protección de 20 A. Si por algún motivo se llegara a utilizar una protección de 15 amperios, la carga no podría ser suplida en su totalidad por tiempo prolongado, debido a que la protección térmica del interruptor actuaría al identificar que una corriente superior a 15 amperios está fluyendo a través de él.

Estado transitorio.

Otro aspecto a tener en cuenta al momento de seleccionar las protecciones es el comportamiento ante una corriente de corto circuito que pueda circular a través de ellas, como se mostró en el numeral 4.3, al realizar un análisis de corto circuito y falla a tierra de una instalación eléctrica se obtiene el nivel de corriente de cortocircuito al que está expuesto al sistema ante una condición de falla; por ende y debido a que las protecciones son los dispositivos encargados de aislar el problema, es importante asegurarse que la capacidad de interrupción de las protecciones de sobre corriente estén por encima de dicho nivel; asegurando así que ante una falla el sistema se proteja de manera satisfactoria sin presentar afectaciones significativas.

A continuación, para entender el objetivo o finalidad de la coordinación de protecciones, se analiza algunas coordinaciones, describiendo el comportamiento del sistema ante una posible falla.

Cuando se elabora la coordinación de las protecciones de sobre corriente, se busca que la protección que se encuentra más cercana a la falla actúe en primera instancia, aislando así la falla, dejando por fuera de servicio la porción más pequeña posible de la instalación eléctrica en estudio.

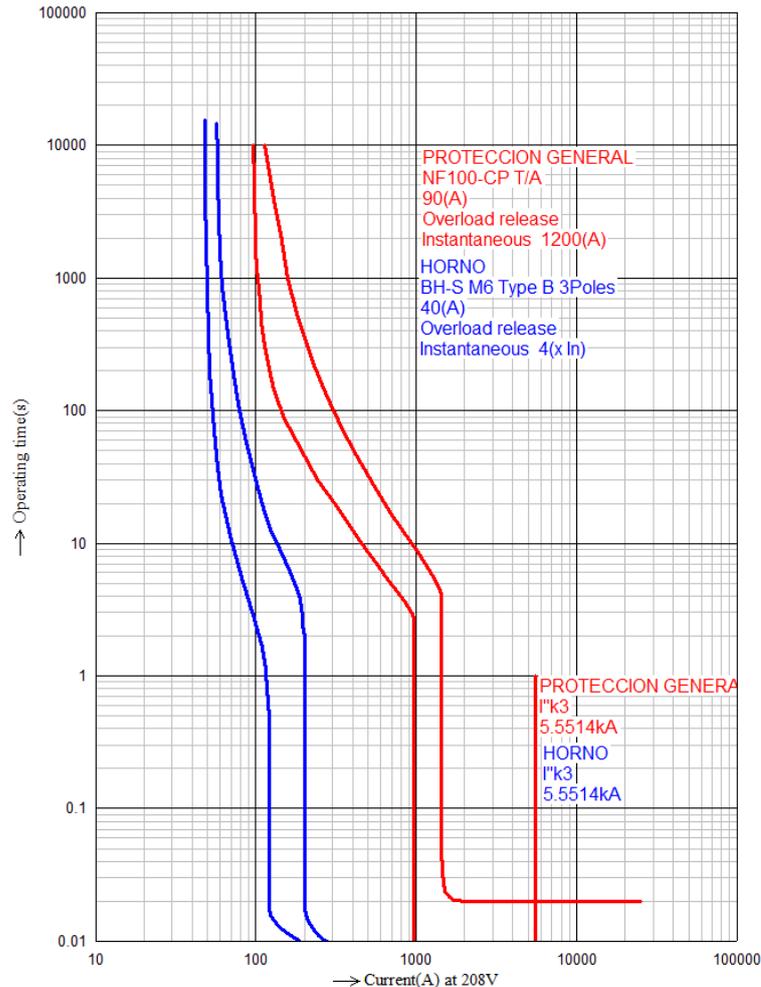


Figura 28. Coordinación de protecciones entre totalizador de 90 A y protección de circuito ramal de 40 A [1].

Como se observa en la Figura 28, en color azul se representa la curva de corriente vs tiempo de una protección termo magnética enchufable de 40 A, protección de la cual se deriva un circuito ramal que lleva la energía a un horno eléctrico y en color rojo es posible observar la curva de corriente vs tiempo de una protección de sobrecorriente de caja moldeada, protección que se encuentra aguas arriba del interruptor de 40 A.

Al analizar el comportamiento de las curvas, es posible identificar que en ningún punto de la gráfica las curvas se tocan o se sobreponen y al realizar un recorrido de izquierda a derecha en el eje x, se encuentra que para corrientes por debajo de 40 A ninguna de las dos protecciones actuaría, lo que garantizaría que el sistema pueda suministrar dicha magnitud de corriente de manera prolongada sin que el sistema presente afectación alguna, luego en el rango de corrientes entre 40 A y 90 A, después de determinado tiempo la protección del Horno actuaría, despejando de manera satisfactoria la falla sin comprometer la operación del resto de la instalación debido a que el interruptor de Caja moldeada no percibe este nivel de corriente como una falla y es capaz de suministrar esta intensidad por tiempo prolongado; luego, para el rango de corrientes entre 100 A y 200 A, las dos protecciones ven estas corrientes como corrientes de falla, pero en este caso es la protección de 40 A la que actúa en menor tiempo mejorando así la selectividad del sistema, si por algún motivo la protección de 40 A no actúa ante corrientes de esta magnitud, luego de un tiempo la protección de 90 A actúa, lo que afectaría una porción mayor del sistema comprometiendo así la confiabilidad del mismo.

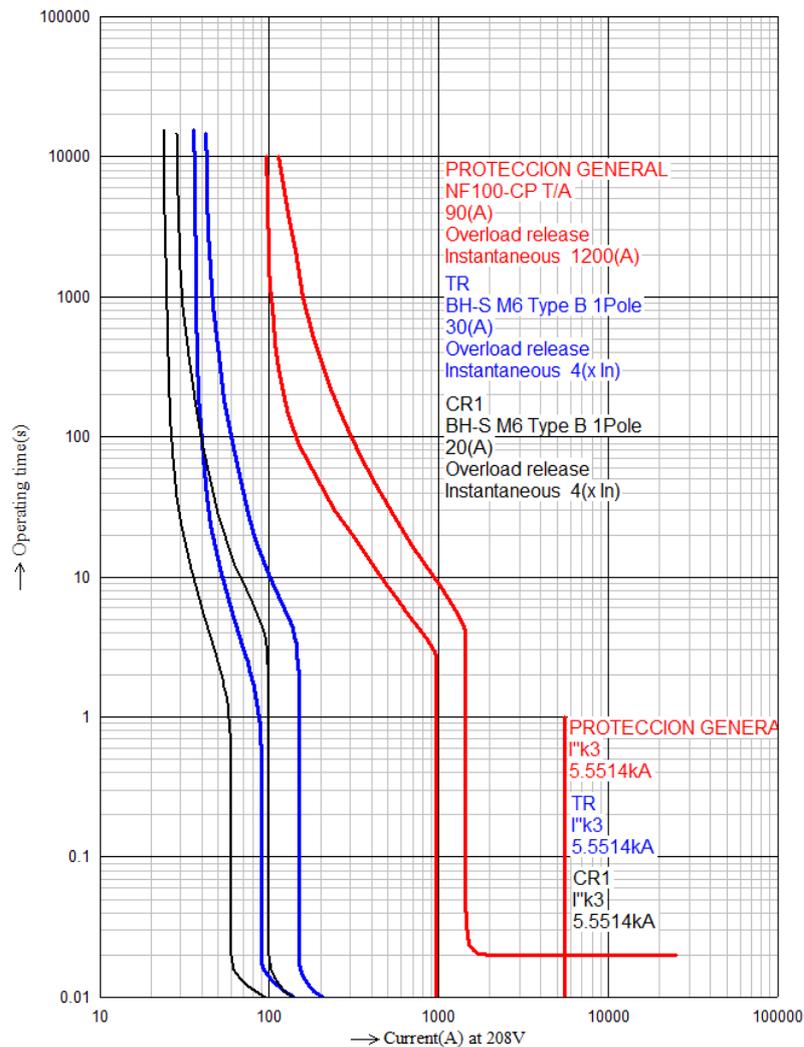


Figura 29 Coordinación de protecciones entre totalizador de 90 A y dos protecciones de circuito ramal de 30 y 20 A [1].

Como se observa en la Figura 29, en color azul se representa la curva de corriente vs tiempo de una protección termo magnética enchufable de 30 A, protección de la cual se deriva un circuito ramal. En color rojo se observa la curva de corriente vs tiempo de una protección de sobrecorriente de caja moldeada y luego en color negro, una protección de 20 A, de la cual se deriva otro circuito ramal, cabe resaltar que la protección que se encuentra en color rojo se encuentra aguas arriba de las protecciones a las cuales pertenece la curva azul y la negra.

Al analizar el comportamiento de las curvas es posible identificar y concluir que la coordinación ilustrada es correcta, debido a que en ningún punto del gráfico la curva roja toca la curva azul y la negra, por tanto, el sistema cuenta con la selectividad necesaria. Es importante aclarar que, aunque la curva negra y la azul se están traslapando, esta superposición de curvas no afecta en lo más mínimo la selectividad del sistema debido a que dichos interruptores sirven para proteger circuitos ramales diferentes, por tanto no presentan correlación.

4.14 Cálculo de canalizaciones y volumen de encerramientos.

4.14.1 Descripción.

El cálculo de canalizaciones y volumen de encerramientos es un cálculo básico con el cual se estima el área transversal necesaria de las canalizaciones o tuberías para que los conductores que descansan al interior quepan cómodamente sin que sufran daños o deterioro en el momento de la instalación y garantizando que los conductores tengan el espacio suficiente para que puedan tener una refrigeración adecuada y la capacidad portadora de corriente.

4.14.2 Objetivo.

Garantizar que los conductores proyectados por las canalizaciones y tuberías quepan cómodamente, asegurando así su integridad en el momento de la instalación y la capacidad portadora de corriente nominal.

4.14.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que el anexo general del reglamento técnico de instalaciones eléctricas no permite que se realicen instalaciones eléctricas de uso final con conductores expuestos, todos los circuitos ramales y alimentadores deben estar canalizados ya sea en tubería expuesta o embebida.

4.14.4 Desarrollo.

Para dimensionar de forma correcta y calcular los niveles de ocupación de los ductos, es necesario tener pleno conocimiento de los diferentes aspectos constructivos de la instalación eléctrica. Como primera medida, se debe tener pleno conocimiento la cantidad y el calibre de los conductores que estarán canalizados en los ductos o tuberías a utilizar; luego, con ayuda de las tablas de características de los conductores brindados por los fabricantes de cables, identificamos el área de la sección transversal de los conductores, luego multiplicando el área por el número de conductores encontramos el área total que ocupa los conductores al interior de la canalización.

Con ayuda de las tablas de las características de las tuberías y ductos a utilizar, se identifica el área de la sección transversal del interior de los mismos, luego es posible encontrar el porcentaje de ocupación de la tubería.

Nota: Al diseñar, es muy importante tener en cuenta no ocupar más del 40% del área de la tubería.

También es muy importante tener claridad del tipo de tubería a utilizar es decir, conocer si la instalación se va a construir en PVC, EMT o PVC SCH 40, debido a que para cada tipo de ducto el área interna del mismo, por tanto varía el número de conductores que se pueden instalar al interior.

A continuación, en la *Tabla 19* y *Tabla 20* se muestra algunos ejemplos de cómo calcular la ocupación de un ducto, en la primera de ellas se muestra este cálculo para el caso de

un circuito alimentador y la segunda muestra como calcular la ocupación de un ducto para los circuitos ramales que componen una instalación eléctrica en baja tensión.

Tabla 19 Llenado de las Canalizaciones de Circuitos Alimentadores [1]

Cálculos del diámetro y ocupación de ductos			
Ocupación de ducto de alimentador TG			
Calibre	Área (mm ²)	Máximo # de conductores	Área Total (mm ²)
2	73,1	4	292,4
8	24,0	1	24,0
Tubería	Área (mm ²)	Porcentaje de Ocupación	
1 1/4"	1170,2	25% <40%	
Ocupación de ducto de alimentador TR			
Calibre	Área (mm ²)	Máximo # de conductores	Área Total (mm ²)
10	12,3	3	36,9
Tubería	Área (mm ²)	Porcentaje de Ocupación	
3/4"	285,0	12,9% <40%	

Tabla 20 Llenado de las Canalizaciones de Circuitos Ramales [1]

Cálculos del diámetro y ocupación de ductos			
Ocupación de ducto de circuitos ramales – Calibre 12 AWG/Tubería 3/4"			
Calibre	Área (mm ²)	Máximo # de conductores	Área Total (mm ²)
12	7,8	9	70,2
Tubería	Diámetro (mm ²)	Porcentaje de Ocupación	
3/4"	285,0	24,6% <40%	
Ocupación de ducto de circuitos ramales – Calibre 10 AWG/Tubería 3/4"			
Calibre	Área (mm ²)	Máximo # de conductores	Área Total (mm ²)
10	12,3	4	49,2
Tubería	Diámetro (mm ²)	Porcentaje de Ocupación	
3/4"	285,0	17,3% <40%	

4.15 Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

4.15.1 Descripción.

El cálculo de pérdida de energía es un cálculo con el cual se estima que tan eficiente es una instalación, en lo que corresponde a la transferencia de energía a las cargas. Los cálculos matemáticos con el cual se estima el valor de las pérdidas involucran principalmente la corriente y la resistencia del conductor del circuito en estudio, debido a que las pérdidas más representativas en las instalaciones de uso final se ven reflejadas en las ocasionadas por el efecto Joule.

4.15.2 Objetivo.

El principal objetivo que permite el cálculo de las pérdidas de una instalación, es cuantificar que porción de la energía entregada por la fuente a la instalación es consumida por el sistema mismo, quietando la posibilidad al usuario de la instalación que haga uso de la misma.

4.15.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que ningún conductor es perfecto, por el contrario, cada conductor tiene asociado a sí mismo una resistencia que depende de la resistividad del material del cual está construido los conductores y de la longitud que tenga el circuito de estudio. Debido a este parámetro, en toda instalación eléctrica habrá presencia de pérdidas técnicas y es responsabilidad del profesional que realiza el diseño de la instalación minimizarlas en la mejor forma posible.

4.15.4 Desarrollo.

En esta sección se determinarán las pérdidas técnicas en los alimentadores de una instalación eléctrica de uso final, debido a que en dicho tipo de instalaciones se ha podido demostrar que los alimentadores son la parte de la instalación que más pérdidas representa, esto tomando como consideración que por ellos circulan corrientes de gran magnitud y cuentan con una gran longitud, debido a que cumplen la función de realizar una conexión entre el gabinete principal de medida y el tablero de distribución principal.

Aunque se sabe que las pérdidas de carácter eléctrico generadas por la corriente eléctrica se componen de pérdidas magnéticas y pérdidas resistivas, es posible inferir que las pérdidas que representan mayor relevancia son las resistivas; por tanto, se procede a calcular las mismas, las cuales se conocen como pérdidas por efecto joule y se calculan a través de la siguiente expresión:

$$E_{pérdidas} = h * P_{pérdidas} = h * \beta * I^2 * R * L \quad [Wh]$$

Donde:

$P_{pérdidas}$: Potencia de pérdidas de energía por efecto joule [W]

h : Tiempo de servicio de la instalación en horas [h]

$\beta = \sqrt{3}$ Para circuitos trifásicos

$\beta = 2$ Para circuitos monofásicos

I: Corriente nominal del circuito [A]

R: Resistencia efectiva del conductor bajo las condiciones de instalación [Ω/km]

L: Longitud del circuito [km]

Luego, al aplicar la ecuación a dos alimentadores diferentes en la *Tabla 21* se resumen los parámetros tenidos en cuenta para el cálculo de las pérdidas de energía y el porcentaje de pérdidas en el alimentador.

Tabla 21 Cálculo de pérdidas técnicas en el Alimentador [1]

Cálculo de pérdidas técnicas del alimentador - Temperatura del conductor 60°							
Descripción	Calibre del conductor por fase	I	R	L	Pperdidas	tiempo	Eperdidas
		[A]	[Ω/km]	[km]	[W]	[h]	[kW/h año]
Alimentador TG	1N°2 AWG THWN	94,7	0,427	0,030	307,5	1500	461,3
Alimentador TR	1N°10 AWG THWN	23,7	3,43	0,006	20,0	1500	30,0

Los valores de resistencia se determinaron a partir de la tabla 9 capítulo 9 de la NTC 2050 para conductores de cobre.

Nota: Las pérdidas de energía se calcularon para un año con un tiempo de operación de 10 h al día durante 25 días al mes y considerando que las 10 horas de operación equivalen a 5 horas de operación continuo a plena carga; esta consideración se toma con base en la experiencia y a los criterios de diseño del ingeniero a cargo.

Nota: es importante resaltar que este resultado es una aproximación que dependerá principalmente del tipo de uso que tenga la instalación y del factor de demanda general que tengan las cargas que se alimentan de la instalación.

4.16 Cálculos de regulación.

4.16.1 Descripción.

La regulación de voltaje es una medida del cambio en la magnitud del voltaje entre el extremo de envío y recepción de la energía como un circuito ramal o un alimentador. La regulación de voltaje describe la capacidad de un sistema para proporcionar voltaje casi constante en una amplia gama de condiciones de carga. El término puede referirse a una propiedad pasiva que resulta en más o menos caída de voltaje bajo diversas condiciones de carga, o a la intervención activa con dispositivos, con el propósito específico de ajustar el voltaje [8].

4.16.2 Objetivo.

El objetivo de calcular la regulación de voltaje es garantizar a la carga que, bajo diferentes condiciones de operación, el sistema le va a garantizar los requerimientos de operación necesario en lo que corresponde al voltaje nominal de la misma.

4.16.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que, cómo se mencionó en el literal anterior, ningún conductor es perfecto y, por tanto, debido a la resistencia asociado al mismo, se van a presentar caídas de tensión que dependen de la corriente que circula por el conductor en estudio; por tanto, para garantizar que las cargas conectadas al sistema operen bajo las condiciones indicadas, se debe realizar el cálculo de regulación de tensión para garantizar las condiciones de voltaje requerida.

4.16.4 Desarrollo.

Los cálculos de regulación de los circuitos ramales y alimentadores se realizaron basados en los lineamientos establecidos en la NTC 2050. A continuación, se describe el método utilizado para los cálculos expresados en estas memorias de cálculo. Para el cálculo de la regulación de tensión se tiene en cuenta el factor de potencia, la impedancia eficaz del conductor, el valor de la tensión y la corriente nominal. Por su parte, para estos cálculos de regulación de tensión se consideran los valores de la tabla 9, capítulo 9 de la NTC. Nota 2.

$$Z_{eficaz} = R * \cos(\theta) + XL * \text{Sen}(\theta)$$

Basados en los valores de la tabla 9 capítulo 9 de la NTC, se obtienen los siguientes valores de Z_{eficaz} para diferentes calibres de conductores de cobre con $fp=0,95$ en tubería EMT, no más de tres conductores portadores de corriente por ducto.

Tabla 22 Z_{eficaz} para conductores [3]

Calibre AWG	Z_{eficaz} (Ω/Km)
12	5,67
10	3,43
8	2,27
6	1,45
4	0,94
2	0,63

El cálculo del porcentaje de regulación de tensión para circuitos se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\%V = \frac{\beta * Z_{eficaz} * L * I}{V * 1000} * 100$$

Donde:

$\beta = \sqrt{3}$ Para circuitos trifásicos

$\beta = 2$ Para circuitos monofásicos

Zeficaz: Se toma de la tabla anterior y está dada en [Ω/Km]

L: Longitud del circuito [m]

I: Corriente nominal del circuito [A]

V: Voltaje nominal [V]

El calibre de los conductores se determinó teniendo en cuenta la caída máxima de tensión permitida y se establece de acuerdo a las secciones 210-19 y 215-2 de la NTC2050:

Sección 210-19, Inciso a), Nota 4: “Los conductores de circuitos ramales como están definidos en la sección 100, con una sección que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5%, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento, Para la caída de tensión en los conductores del alimentador, véase el artículo 215-2”[3].

Sección 215-2, Inciso b), Nota 2: “Los conductores de alimentadores tal como están definidos en la sección 100, con un calibre que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas para potencia, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramales hasta la salida más lejana no supere el 5%, ofrecen una eficacia de funcionamiento razonable, Nota 3: Véase el artículo 210-19, a), para la caída de tensión de los conductores de los circuitos ramales”[3].

A continuación, se ilustra el procedimiento llevado a cabo para el cálculo de la regulación de tensión en la acometida de los tableros de distribución.

Regulación de tensión del alimentador TG:

Longitud del alimentador= 30 m

Corriente nominal = 63A

Calibre del circuito = 1N°1/0 AWG THWN por fase

Voltaje nominal = 208 V

Con base en la información anterior y reemplazando en la ecuación para circuitos bifásicos se obtiene el siguiente valor de regulación para este circuito.

$$\%V = \frac{1,73 * 0.63 * 50 * 94,7}{208 * 1000} * 100 = 0,99\%$$

Regulación de tensión del alimentador TR:

Longitud del alimentador= 6 m

Corriente nominal = 18,8 A

Calibre del circuito = 1N°10 AWG THWN por fase

Voltaje nominal = 120 V

Con base en la información anterior y reemplazando en la ecuación para circuitos bifásicos se obtiene el siguiente valor de regulación para este circuito.

$$\%V = \frac{2 * 3,43 * 6 * 18,8}{208 * 1000} * 100 = 0,65\%$$

En la Tabla 23 se muestra la regulación de cada tablero para los circuitos ramales más críticos.

Tabla 23 Resumen de cálculos de regulación de tensión [1]

Descripción	% Reg. Alimentador	% Reg. Circuito Ramal	% Reg. Total
TG	1,12%	1,65%	2,77%
TR	0,81%	1,28%	2,09%

Se puede verificar que los valores de regulación obtenidos cumplen con las secciones 210-19 y 215-2 de la NTC 2050, ya que los circuitos ramales tienen regulación inferior al 3% y la combinación de la regulación del circuito ramal y alimentador es inferior al 5%. (**%Reg, alimentador + %Reg, ramal < 5%**)

4.17 Clasificación de áreas.

4.17.1 Descripción.

Según la NTC 2050 en el capítulo 5 “las, e deben clasificar según las propiedades del gas inflamable, el vapor generado por líquidos inflamables, los vapores generados por líquidos combustibles, los polvos combustibles, o las fibras/partículas suspendidas que pudieran estar presentes, y la probabilidad de que una concentración inflamable o combustible y cantidad esté presente.

Para determinar su clasificación, cada cuarto, sección o área se debe considerar individualmente. Donde los únicos materiales utilizados o manipulados en estas áreas sean pirofóricos, estas áreas están fuera del alcance de este artículo”[3].

4.17.2 Objetivo.

El objetivo principal de la clasificación de áreas es identificar claramente los espacios dentro de una edificación o instalación que representan un riesgo potencial y con las

cuales se debe tener un especial cuidado, realizando diseños especiales con materiales y consideraciones especiales que permitan conservar la integridad y seguridad del inmueble al cual se le está realizando el diseño de la red eléctrica.

4.17.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica solo en el caso en el que el inmueble al que se le esté elaborando el diseño cuente con espacios que representen un riesgo potencial para su la integridad, para esta de guía de memorias de cálculo no aplican las instalaciones clasificadas.

4.18 Elaboración de diagramas unifilares.

4.18.1 Descripción.

El diagrama unifilar, como su nombre los indica, es un esquema en el cual los circuitos eléctricos se representan a través de líneas, el diagrama unifilar es una herramienta grafica que representa una instalación eléctrica en la cual se relacionan conductores, protecciones de sobrecorrientes, fuentes de alimentación, gabinetes y encerramientos, cargas, todos elementos dibujan de tal forma que el diagrama unifilar describa lo más exacto posible la configuración y topología del sistema eléctrico de la instalación.

4.18.2 Objetivo.

Describir de la mejor manera posible la composición y conexión de todos y cada uno de los elementos que forman parte del sistema eléctrico en construcción, con el fin aportar a la instalación una herramienta que permita facilitar la operación y mantenimiento del mismo.

4.18.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que toda instalación eléctrica debe contar con un claro esquema de conexión y composición que permita que todos y cada uno de las personas que tengan interacción con la instalación, tengan claridad de la configuración de la instalación y la topología del sistema.

4.18.4 Desarrollo.

A continuación, para ilustrar al lector acerca de la elaboración de diagramas unifilares, se mostrarán algunos ejemplos de diagramas unifilares encontrados a lo largo de las prácticas empresariales.

En la Figura 30 se observa un diagrama unifilar que tiene un alcance desde entrada de circuito alimentador al tablero de distribución, hasta salida de circuitos ramales de la instalación, a continuación, se describe cada uno de los elementos que forman parte de este diagrama unifilar.

Alimentador

El alimentador del circuito debe de suministrar información que permita identificar claramente de que parte de la instalación proviene, en este caso el alimentador enuncia que proviene desde el gabinete general de medida, adicionalmente cuenta con unas líneas oblicuas que simbolizan el número de conductores que viajan por el ducto del alimentador describiendo cuantos de ellos pertenecen a las fases, cuantos al neutro y cuantos al conductor de tierra, dejando claro adicionalmente el calibre de cada uno de ellos. El alimentador también debe describir el material del cual están fabricados los cables que lo componen, tanto el material del alma conductora como también material del cual está fabricado el aislamiento, por último, se describe el diámetro nominal del ducto a través del cual viaja el mismo.

Totalizador

El totalizador se simboliza de tal forma que se describa sus los dos parámetros más importante, la corriente nominal soportada en estado estable y la capacidad de interrupción que soporta. En el caso de la Figura 30, el totalizador tiene una corriente nominal en estado estable de 100 A y una capacidad de interrupción o una corriente máxima de cortocircuito de 10 kA.

Barraje

La barra central de color negro, representa el barraje principal del tablero, a partir de cual se derivarán los circuitos ramales de la instalación eléctrica.

Circuitos ramales

Para describir los circuitos ramales, se necesita describir a su vez tres elementos: el primero de ellos es el interruptor que protegerá el circuito ramal, para dar una completa descripción de este dispositivo se utiliza la misma información que se brindó en el totalizador del gabinete, luego se describe el circuito, en donde se enuncia el calibre de los conductores que se utilizaran en el circuito, número de conductores de fase neutro y tierra, tipo de aislamiento y material del cual está fabricado el alma conductora, luego para que la descripción del circuito ramal quede completa se coloca una breve descripción de la carga a la cual sirve el circuito ramal o dispositivo, zona a la cual se dirige.

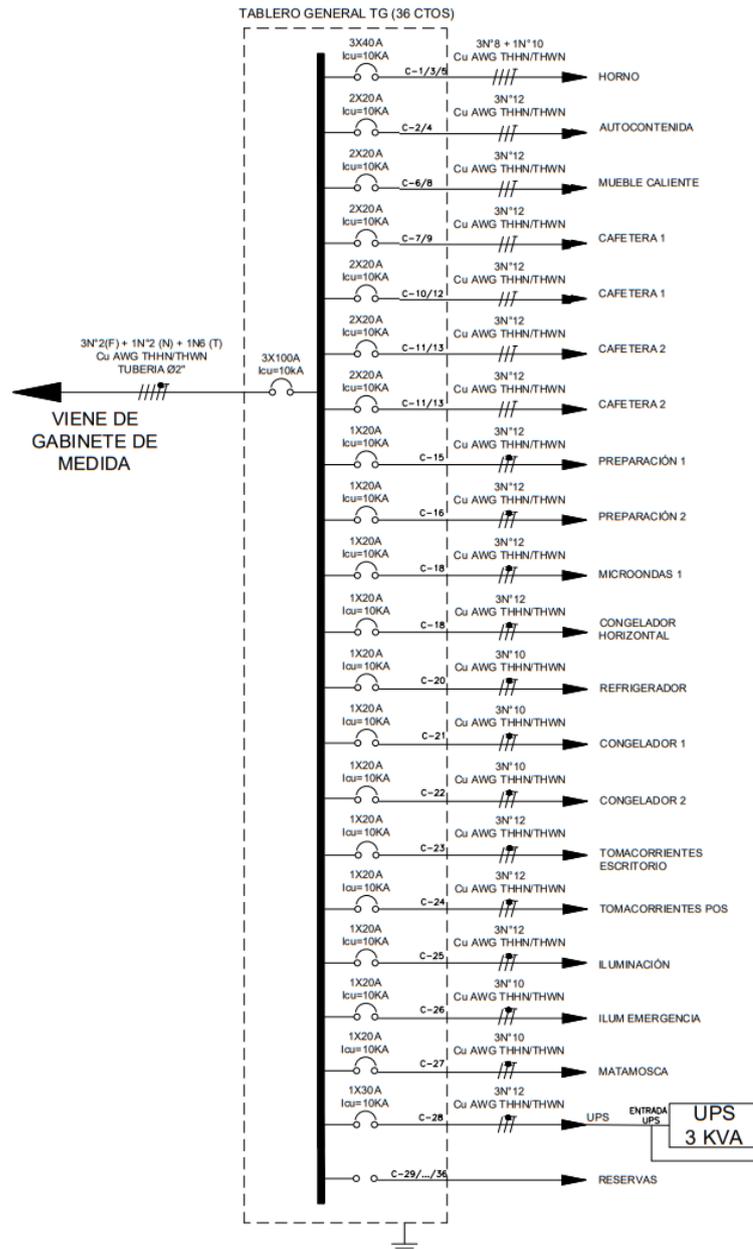


Figura 30 Diagrama unifilar de tablero de distribución principal [1]

Luego, en la Figura 31, se muestra otro ejemplo de diagrama unifilar. Este tipo de diagrama unifilar se caracteriza por que presenta principal énfasis en las protecciones que hacen parte de un sistema eléctrico, debido a que este diagrama unifilar hace parte de un software que sirve para realizar coordinación de protecciones; por tanto, el diagrama unifilar solo muestra la información que es realmente valioso para el cálculo de protecciones. Como se observa, es posible identificar que a pesar de que el objetivo o finalidad de este diagrama unifilar es diferente al de la Figura 30, la información que se enuncia en los interruptores y totalizadores es básicamente la misma, debido a que es la información más importante para tener en cuenta en el momento de interactuar con el sistema.

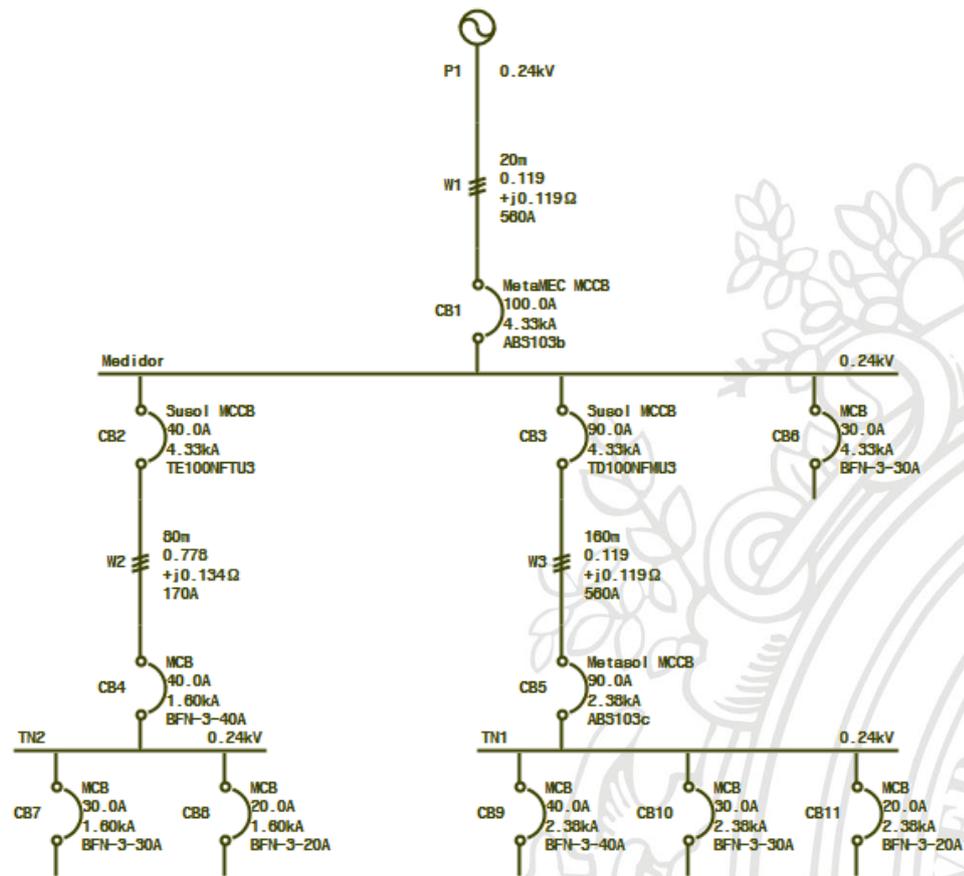


Figura 31 Diagrama unifilar para coordinación de protecciones, Software LS [1]

A continuación, en la Figura 32 se observa un diagrama unifilar de un gabinete de medida, en este diagrama unifilar se describen los siguientes elementos:

Acometida

La acometida según el RETIE, en su artículo 3 se define como la derivación de la red local, que llega hasta el registro de corte del inmueble [2], por tanto, al describir la acometida se debe describir el circuito que sirve para derivar la energía de la instalación desde el punto de conexión brindado por el operador de red. Para dar una completa caracterización de la acometida, al igual que los alimentadores, se deben describir el número de conductores, enunciando cuantos de ellas corresponde a conductores de fase, neutro y tierra, adicionalmente se describe los materiales de los cuales están elaborados los cables de los cuales se compone el circuito y el diámetro del ducto que los contiene.

Equipo de medida

El diagrama unifilar del gabinete de medida también debe describir el equipo de medida que se utiliza en la instalación, de estos equipos se debe describir, la clase del medidor tanto en energía reactiva como en activa, la tensión nominal a la que opera el equipo, el rango de corriente que es capaz de soportar y también el tipo de medida que se realizara,

si se trata de medida directa o semidirecta, en caso de tratarse de medida semidirecta es importante también enunciar las características de los TCs que hacen parte de la medición.

Alimentador

El gabinete de medida también debe contar con las características del circuito alimentador, quien será el encargado de conectar el gabinete de medida con los tableros de distribución. Para describir este circuito, al igual que la descripción de los circuitos ramales en la figura 30, se debe enunciar la protección en este caso el totalizador principal de la instalación conductores que conforman el circuito alimentador y por ultimo dar una breve descripción de hacia dónde se dirige dicho circuito.

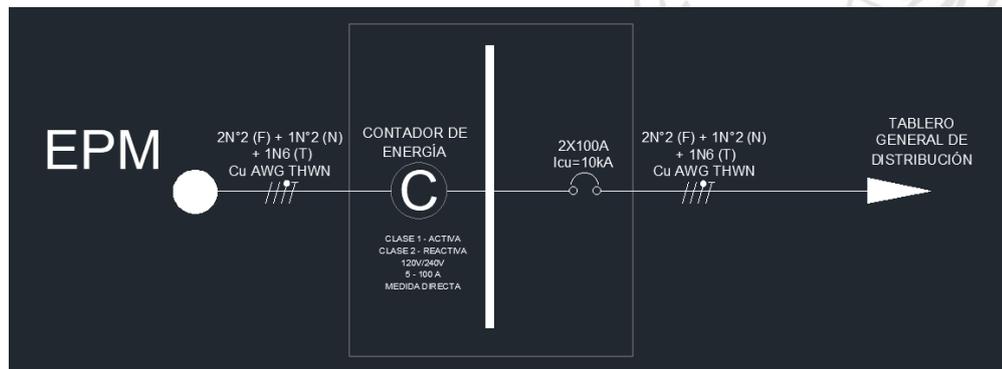


Figura 32 Diagrama unifilar de gabinete de medida [1].

4.19 Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.

4.19.1 Descripción.

Un plano eléctrico es una representación gráfica de las ubicaciones del alumbrado exterior e interior, tomacorrientes, tubería, gabinetes, tableros, cajas de empalme y demás elementos que forman parte de la instalación eléctrica de una casa, edificio, fábrica y en fin, de un determinado inmueble.

En los planos eléctricos se encuentran distintos símbolos, los cuales constituyen una representación gráfica de un elemento físico presente en los sistemas eléctricos, como por ejemplo un relé, un arrancador o un transformador, entre otros elementos. Existen diferentes símbolos para el mismo dispositivo según la norma que se esté usando para desarrollar el plano eléctrico.

En un plano eléctrico se pueden detallar todas las conexiones de cualquier edificación como: en las paredes, puertas y ventanas, en el que se anotan los contactos y apagadores eléctricos, así como los bombillos o lámparas, se pueden anotar también los interruptores principales.

Existe una gran variedad de planos eléctricos. La elección del plano dependerá de la información específica que se necesite, en ellos se pueden mostrar desde detalles de fabricación de un equipo, hasta detalles de construcción y montaje de un componente eléctrico, sistemas de tierras, diagramas de control, entre otros elementos. [9]

En relación con la nomenclatura, se tiene que, a cada símbolo representado en el plano eléctrico, se le asocia un nombre con el cual se va a reconocer al dispositivo dentro del

conjunto de planos, en otros documentos asociados al sistema y en el propio dispositivo, una vez que es instalado en campo [9].

4.19.2 Objetivo.

El principal objetivo de la elaboración de planos es brindar a los profesionales encargados de la construcción de una red eléctrica una guía que le permitan plasmar de forma física a la perfección las ideas del diseñador.

4.19.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre, debido a que toda instalación eléctrica debe pasar por un proceso de construcción, dicho proceso requiere como pilar guía de la misma unos planos que permitan comunicar al profesional constructor la idea del encargado del diseño de la instalación.

4.19.4 Desarrollo.

La elaboración de planos es uno de los aspectos esenciales en las etapas de diseño de una instalación eléctrica de uso final en baja tensión, debido a que es el transductor que permite que un proyecto constructivo sea llevado desde el papel hasta la realidad a través de los encargados de la construcción; es por esta razón que es de suma importancia que el profesional encargado del diseño trate de plasmar de la manera más precisa todos y cada uno de los elementos que harán parte de la instalación eléctrica, permitiendo así una construcción lo más coherente posible con las necesidades del usuario de la misma.

A continuación, y debido a que la elaboración de planos o esquemas de construcción se deja a criterio de los profesionales encargados del diseño, se mostraran al lector algunos ejemplos de planos que fueron elaborados por la empresa IENEL SAS, en algunos de sus proyectos de diseño, esto con el fin de que el lector obtenga un poco de ilustración acerca de cómo se elaboran los esquemas constructivos o planos.

A continuación en la Figura 33 se observan los planos de un local comercial, al analizar detalladamente el esquema se puede identificar que los planos mostrados en la figura corresponden a un diseño de iluminación, en él se pueden apreciar todos y cada uno de los dispositivos que se van a conectar en la instalación, se detalla el número de circuito al cual pertenece cada elemento, se realiza un enlace de cada luminaria con su dispositivo de control, adicionalmente y de suma importancia se realiza un trazado de los ductos por los cuales se instalaran los conductores que llevaran la energía a cada uno de los dispositivos, distinguiendo entre ellos, las tuberías que se encontraran empotradas o embebidas en la estructura de la edificación de las que por otra parte las que serán instaladas de forma expuesta, en este esquema constructivo también es posible observar la ubicación del cuarto técnico de la instalación en la cual estará ubicado el tablero principal de distribución desde el cual se derivaran todos los circuitos ramales de la instalación.

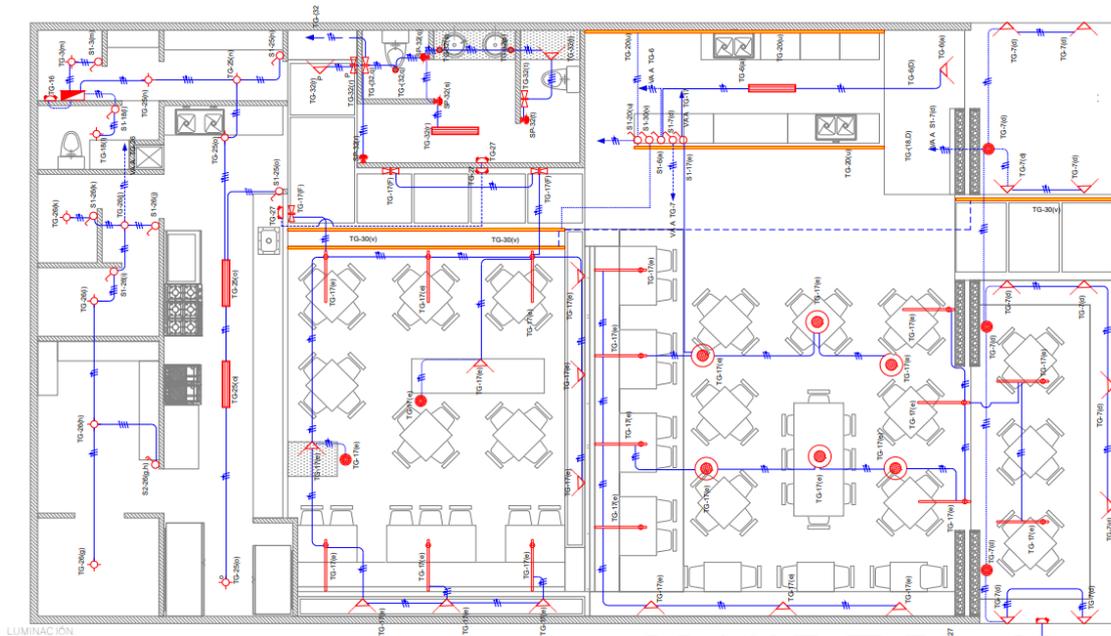


Figura 33 Esquemas constructivos de local comercial [1].

Otro aspecto muy importante a incluir, al interior de la planimetría de un proyecto constructivo, son las convenciones con las cuales se va a elaborar los planos, debido a que, definir claramente las convenciones a utilizar, le brindara al personal encargado de la construcción una guía con la cual al navegar al interior del modelo diseñado se pueda identificar fácil y claramente los dispositivos a instalar; aunque es importante resaltar que el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), en el artículo 6, define una simbología y señalización, no todos los elemento que hacen parte de un diseño se encuentran dentro de lo abarcado por el mismo reglamento, por tanto como se muestra en la Figura 34, en ocasiones es importante definir o adoptar algunos símbolos que generalmente son elaborados por el diseñador del proyecto que le permitan al plano un fácil entendimiento y le entreguen al constructor las herramientas suficientes para plasmar de manera exacta toda la información residente en la planimetría.

CONVENCIONES			
	Tomacorriente doble con polo a tierra 120V.		Spot Eco 68 dirigible en riel
	Tomacorriente doble Regulado 120V.		Ojo de Buey en piso.
	Tomacorriente 2F 250V		Luminaria de emergencia, 120V
	Tomacorriente doble GFCI 120V.		Luminaria LED hermética delgada
	Tablero de distribución - multibreakers		Luminaria tipo cilindro
	Ducto de EMT		Salida para iluminación en techo
	Fase, Neutro, Tierra		Interruptor (suiche) sencillo
	Luminaria luz indirecta		Interruptor (suiche) doble
	Sensor de presencia 180°		Ojo de Buey en cielo.
	Luminaria luz indirecta, apertura lateral.		

Figura 34 Convenciones definidas por el diseñador [1].

A continuación para brindar un par de ejemplos mas al lector, se muestran en la Figura 35 y en la Figura 36, otros ejemplos de alguna planimetría utilizada en proyectos constructivos llevados a cabo por la empresa IENEL SAS.

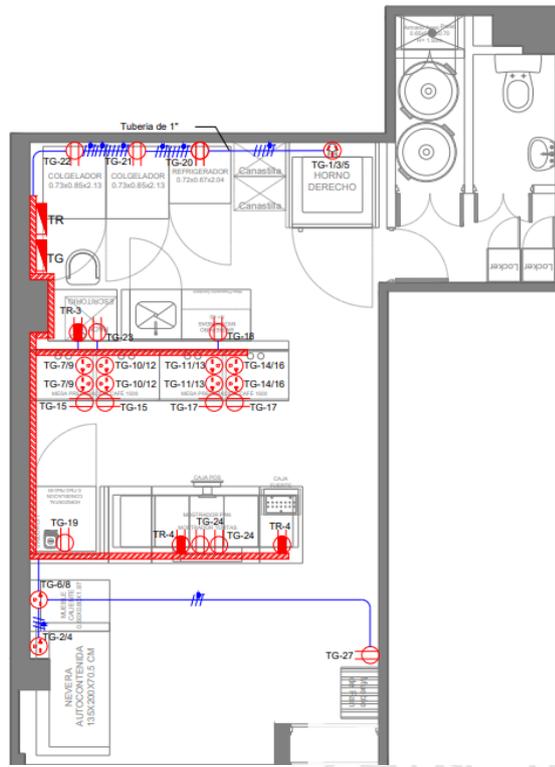


Figura 35 Plano de salidas eléctricas, local comercial [1]

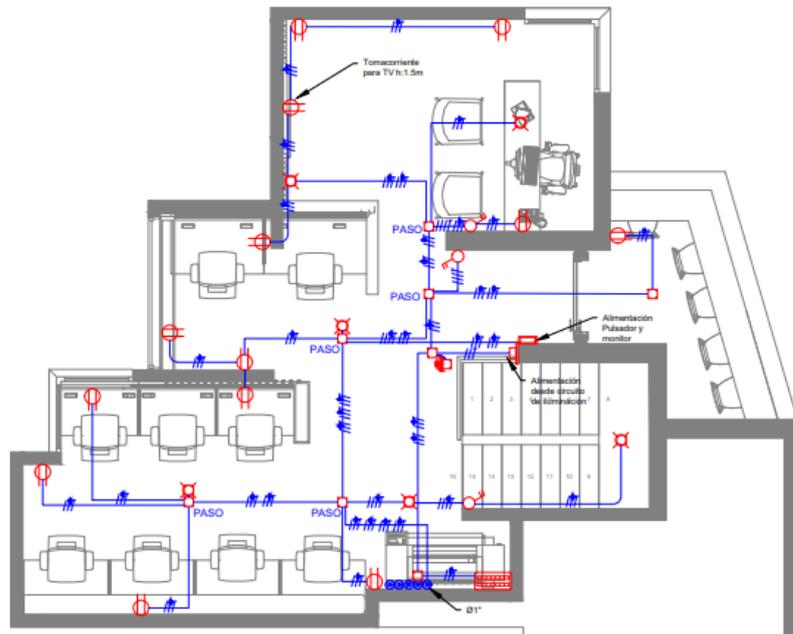


Figura 36 Plano salidas e iluminación, Sede de oficinas [1].

4.20 Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

4.20.1 Descripción.

En algunas ocasiones los inmuebles a los que se les realiza el diseño de la instalación eléctrica presentan ciertas condiciones constructivas especiales que representan retos a la hora de la instalación de los equipos o tubería, por tanto, se hace necesario adicionar a los esquemas básicos de planos, una serie de ilustraciones que le faciliten al personal encargado de la construcción llevar a cabo todos y cada uno de los requerimientos plasmados por el diseñador en el plano.

4.20.2 Objetivo.

Facilitar al constructor la interpretación de la planimetría asegurando de esta manera la coordinación entre las etapas de diseño y construcción.

4.20.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica solo en el caso en el que el diseñador considere que el esquema básico del plano no es suficiente para que la construcción de la instalación se lleve a cabo de manera correcta y acertada.

4.20.4 Desarrollo.

En la mayoría de los proyectos constructivos, es necesario hacer claridad o brindar al constructor herramientas adicionales a los planos eléctricos, para que se pueda elaborar con exactitud todo lo que se encuentra plasmado en el diseño; debido a esta necesidad, en la mayoría de los proyectos los planos eléctricos suelen acompañarse de una serie de ilustraciones las cuales hacen énfasis en partes puntuales de la instalación en donde se tienen limitaciones estructurales, construcciones especiales o simplemente dejar en claro procedimientos que son de suma importancia que se hagan de manera correcta.

A continuación, se muestran algunos de los detalles o especificaciones complementarias que sirven de guía para el constructor haga de manera correcta el trabajo propuesto.

En el caso de la Figura 37, se muestra una especificación de una instalación que requería respaldar algunas de las cargas a través de una ups, Ups que debía contar con la posibilidad de transferencia manual de carga, permitiéndole así al usuario seleccionar el modo de operación del sistema eléctrico, en este caso el diseñador para dar a entender a la perfección su idea elabora una ilustración de cómo se vería el producto final mirado desde una vista frontal.

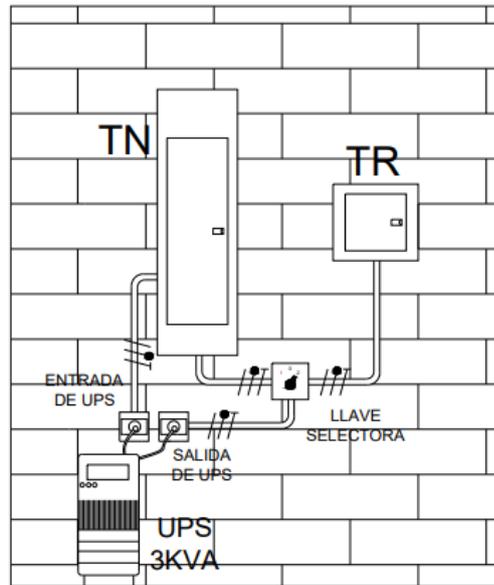


Figura 37 Detalle Sistema de transferencia manual [1].

Como es posible observar en la Figura 38, el profesional encargado del diseño también puede complementar los planos con ilustraciones que le permitan al encargado de ejecutar el proyecto entender y tener claridad de cómo se deben realizar algunos puntos de construcción; por ejemplo, en el caso de esta figura, el diseñador le muestra al constructor como se deben realizar los empalmes y conexiones de manera correcta para que la instalación se construya de la manera más segura posible.

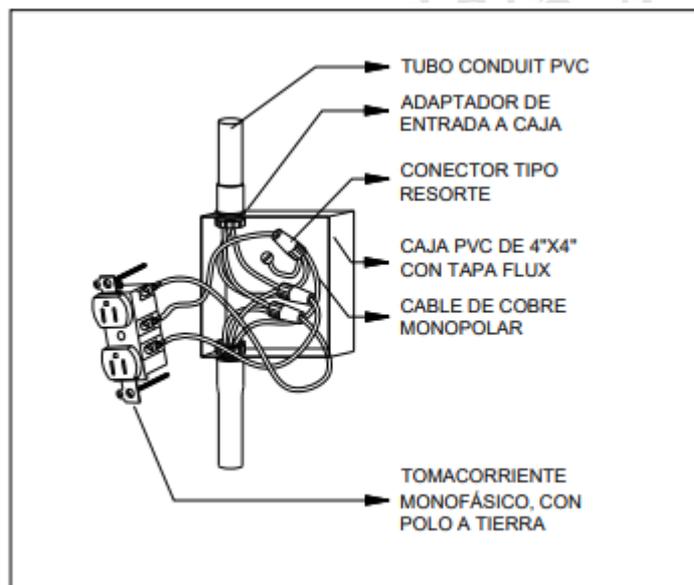


Figura 38 Detalle de conexión de tomacorriente [1].

En la Figura 39 el diseñador le muestra al constructor como se deben realizar la conexión de una luminaria que se encuentra conectada desde una red eléctrica tipo expuesta y que se encuentra adosada a un cielo falso.

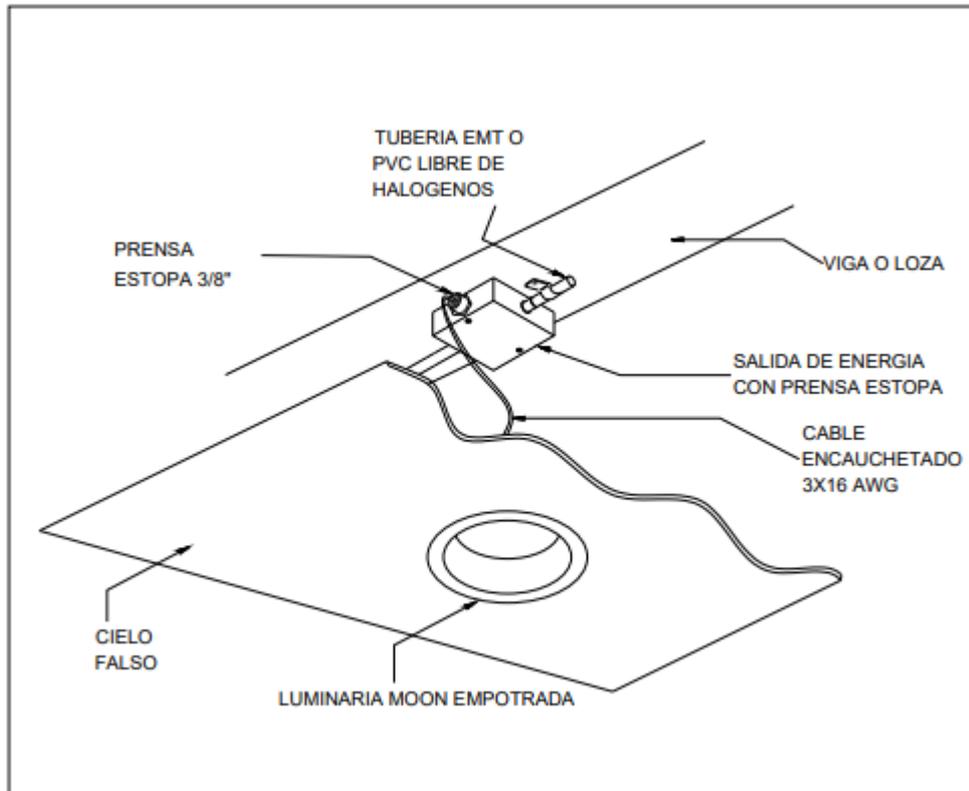


Figura 39 Detalle de Luminaria en Drywall [1]

Como es posible inferir la información complementaria a la planimetría puede ser de muchas formas y tamaños, lo importante a la hora de brindar información complementaria, es que el constructor encuentre herramientas útiles, que e ayuden a clarificar etapas de la construcción del proyecto que requieren de especial atención.

4.21 Establecer las distancias de seguridad requeridas.

4.21.1 Descripción.

Como lo menciona el anexo general del RETIE en su artículo 13 “para el presente reglamento y teniendo en cuenta que frente al riesgo eléctrico la técnica más efectiva de prevención, siempre será guardar una distancia respecto a las partes energizadas, puesto que el aire es un excelente aislante”[2], establecer las distancias de seguridad requeridas para cada instalación, es identificar la separación que tiene que haber entre las personas que se encuentran en interacción con la instalación con las partes energizadas de la misma, cabe resaltar que la distancia de seguridad de la instalación se define dependiendo si la persona que está en interacción con la instalación es personal calificado o personal no calificado y si porta equipos de protección personal o no.

4.21.2 Objetivo.

El principal objetivo de definir las distancias de seguridad de una instalación eléctrica es establecer e informar a las personas que permanecen al interior de la instalación, los

lugares en los que se encuentran en peligro de que incurra en un accidente eléctrico, velando de esa forma por el bienestar, seguridad e integridad de la vida en general.

4.21.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica en todas las ocasiones, debido a que, para poder llevar la energía desde las fuentes hasta las cargas, es necesario tener una serie de elementos conductores energizados, por tanto, siempre es necesario establecer distancias de seguridad que van a depender del nivel de tensión de operación de la instalación en cuestión.

4.21.4 Desarrollo.

Las partes energizadas a las que el trabajador pueda estar expuesto, se deben poner en condición de trabajo eléctricamente seguro antes de trabajar en o cerca de ellas, a menos que se demuestre que desenergizar introduzca riesgos adicionales. Actualmente se han incrementado los accidentes por arcos eléctricos, originados en cortocircuitos, fallas a tierra, contacto de herramientas con partes energizadas, choque térmico, acumulación de polvos, pérdidas de aislamiento, depósitos de material conductor o la ionización del medio. El arco genera radiación térmica hasta de 20000 °C, presenta un aumento súbito de presión hasta de 30 t/m² con niveles de ruido por encima de 120 dB y expide vapores metálicos tóxicos por desintegración de productos. Se debe tomar como frontera de protección contra arco eléctrico, para sistemas mayores a 50 voltios, la distancia a la cual la energía incidente es igual a 5 J/cm² (1,2 cal/cm²).

Para actividades tales como cambio de interruptores o partes de él, intervenciones sobre transformadores de corriente, mantenimiento de barrajes, instalación y retiro de medidores, apertura de condensadores, macromediciones, medición de tensión y corriente, entre otras; deben cumplirse procedimientos seguros como los establecidos en la NFPA 70 E o IEC 60364. En todo caso se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Realizar un análisis de riesgos donde se tenga en cuenta la tensión, la potencia de cortocircuito y el tiempo de despeje de la falla, para definir la categoría del riesgo que determina el elemento de protección a utilizar. El análisis de arco debe revisarse en periodos no mayores a cinco años o cuando se realicen modificaciones mayores.
- b. Fijar etiquetas donde se indique el nivel de riesgo y el equipo requerido.
- c. Realizar una correcta señalización del área de trabajo y de las zonas aledañas a ésta.
- d. Tener un entrenamiento apropiado para trabajar en tensión, si es el caso.
- e. Tener un plano actualizado y aprobado por un profesional competente.
- f. Tener una orden de trabajo firmada por la persona que lo autoriza.

g. Usar equipos de protección personal certificados para el nivel de tensión y energía incidente involucrados, los cuales no deben tener nivel de protección menor al establecido en la Tabla 13.6

CATEGORÍA	NIVEL MÍNIMO DE PROTECCIÓN Cal/cm ²
0	Prenda normal de algodón
1	4
2	8
3	25
4	40

Figura 40 Nivel mínimo de protección térmica según NFPA 70E [2].

h. Las personas no calificadas, no deben sobrepasar el límite de aproximación seguro. Los OR atenderán las solicitudes de cubrimiento o aislamiento temporal para redes de media tensión y baja tensión que haga el usuario cuando requiera intervenir sus fachadas, el costo estará a cargo del usuario.

i. El límite de aproximación restringida debe ser señalado ya sea con una franja visible hecha con pintura reflectiva u otra señal que brinde un cerramiento temporal y facilite al personal no autorizado identificar el máximo acercamiento permitido.

j. Cumplir las distancias mínimas de aproximación a equipos energizados de las Tablas 13.7 o 13.8 y la Figura 13.4 según corresponda, las cuales son adaptadas de la NFPA 70 e IEEE 1584. Estas distancias son barreras que buscan prevenir lesiones al trabajador y son básicas para la seguridad eléctrica.

Tensión nominal del sistema (fase - fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
50 V - 300 V	3,0	1,0	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V - 750 V	3,0	1,0	0,30	0,025
751 V - 15 kV	3,0	1,5	0,7	0,2
15,1 kV - 36 kV	3,0	1,8	0,8	0,3
36,1 kV - 46 kV	3,0	2,5	0,8	0,4
46,1 kV - 72,5 kV	3,0	2,5	1,0	0,7
72,6 kV - 121 kV	3,3	2,5	1,0	0,8
138 kV - 145 kV	3,4	3,0	1,2	1,0
161 kV - 169 kV	3,6	3,6	1,3	1,1
230 kV - 242 kV	4,0	4,0	1,7	1,6
345 kV - 362 kV	4,7	4,7	2,8	2,6
500 kV - 550 kV	5,8	5,8	3,6	3,5

Figura 41 Distancia mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna [2].

Como se puede observar en la Figura 41, se resalta en el recuadro rojo las distancias de seguridad que aplican para el tipo de instalación eléctrica que son objeto de estudio de estas memorias de cálculo.

- Distancia de aproximación segura a parte móvil expuesta: 3 metros.
- Distancia de aproximación segura a parte fija expuesta: 1 metros.

- Distancia de aproximación restringida incluyendo movimientos involuntarios: Evitar contacto.
- Distancia de aproximación técnica: Evitar contacto.

A continuación, con la finalidad de dar claridad acerca de lo que significa aproximación térmica, aproximación restringida y aproximación segura, en la Figura 42 se definen los límites de aproximación, explicando que aproximación aplica para cada tipo de persona.

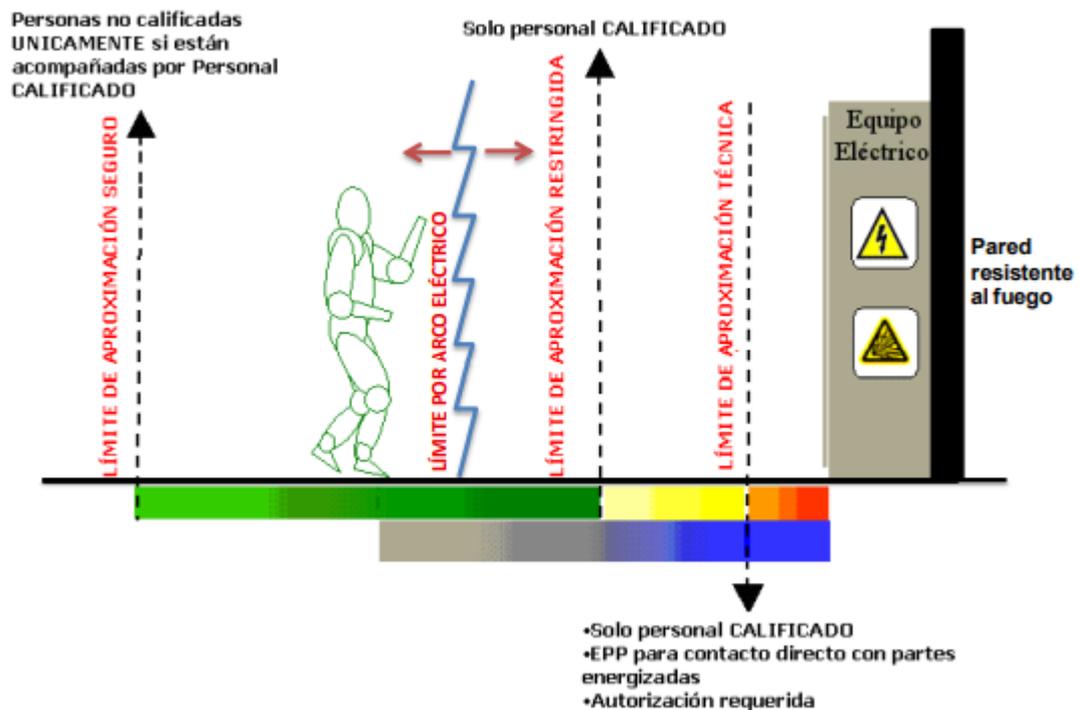


Figura 42 Límites de aproximación [2].

4.22 Justificación técnica de desviación de la NTC 2050, cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

4.22.1 Descripción.

Una Justificación de desviación a la norma es una forma de exponer las causas por las cuales en algunas ocasiones no es posible cumplir lo estipulado en la norma NTC 2050, las desviaciones a la norma tienen validez siempre y cuando él no cumplir la norma garantice mantener la integridad, seguridad y bienestar de los seres vivos que interactúan con la instalación eléctrica.

4.22.2 Objetivo.

Explicar el no cumplimiento de la norma en caso de que sea necesario desviarse de la misma.

4.22.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica solo en las ocasiones que no sea posible cumplir todas las indicaciones estipuladas al interior de la norma, cuando la instalación se construye, cumpliendo los lineamientos de la misma, no se hace necesario una justificación de desviación.

4.22.4 Desarrollo.

A continuación, con el fin de dar una idea de cómo puede llegar a ser una justificación de una desviación a la norma, se mostrarán algunos ejemplos de situaciones ocurridas en instalaciones eléctricas elaboradas por la empresa IENEL SAS a lo largo de su trayectoria en el mercado.

Ejemplo restaurante

Se expresa formalmente que en el diseño y construcción de la red eléctrica perteneciente al proyecto restaurante 1, no fue posible instalar tubería EMT, la cual está diseñada para ser utilizada de manera expuesta sobre la estructura que sostiene el techo del inmueble en cuestión, forzando al diseño y construcción a considerar cables flexibles de más de 1,8 metros contrariando lo indicado por la norma NTC 2050, debido a que el ingeniero civil que se encontraba a cargo del diseño y construcción de la parte estructural, comunico, de manera explícita, que con la finalidad de no debilitar la estructura metálica que sostiene el techo, era mejor no realizar ninguna perforación sobre, impidiendo así la fijación de las cajas de empalme tubería; es importante resaltar que se realiza la desviación bajo la premisa de conservar la seguridad e integridad de las personas que visitaran el local comercial.

Ejemplo instalación de uso residencial

Se expresa formalmente que, en el diseño y construcción de la red eléctrica perteneciente al proyecto finca vacacional, no fue posible incluir salidas de tomacorrientes sobre el mesón de la cocina como lo indica la norma, debido a que la instalación de los mismos ponían en riesgo la integridad del inmueble y la seguridad de las personas que habitan la edificación, todo esto causado por una tubería de gas domiciliario que pasa muy cerca del lugar de instalación de las salidas, violando así las distancias mínimas de seguridad entre una red y otra.

Con el fin de solventar dicha situación se opta por instalar a una distancia de 15 cm de un costado del mesón un tomacorriente con el fin de suplir las necesidades energéticas del espacio ya antes mencionado.

NOTA: es importante que las justificaciones de desviación a la norma se elaboren con la firma del ingeniero responsable, quien es el encargado de velar por la seguridad de la instalación en cuestión.

4.23 Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, mecánicas y térmicas.

4.23.1 Descripción.

En algunas ocasiones en la etapa de diseño de una instalación eléctrica es necesario realizar unos cálculos y consideraciones que no son solicitados por la norma pero que son necesarios para llevar un adecuado desarrollo de los proyectos constructivos.

Debido a ello, en este ítem de las memorias de cálculo se adicionan todos esos cálculos adicionales que a criterio del diseñador deben realizarse para hacer de la instalación un lugar más seguro.

4.23.2 Objetivo.

El principal objetivo de anexar cálculos adicionales a las memorias de cálculo eléctrico es complementar el diseño, con la misión llevar a cabo la etapa de diseño de la mejor manera posible.

4.23.3 ¿Cuándo Aplica?

Aplica siempre que el diseñador a criterio lo considere necesario.

4.23.4 Desarrollo.

Con la finalidad de ilustrar al lector sobre algunos cálculos complementarios, se lleva a cabo el cálculo de alta concentración de personas con el objetivo de identificar si la zona común de un edificio de uso residencial debe construirse utilizando conductores con aislamiento libre de gases halógenos.

Según la NFPA 101 (Código de seguridad humana), la capacidad total de los medios de egreso para cualquier planta, balcón, palco u otro espacio ocupado deberá ser suficiente para la carga de ocupantes del mismo. La carga de ocupantes en cualquier edificio o parte del mismo, deberá ser como mínimo el número resultante de dividir el área asignada para ese fin por el factor de la carga de ocupantes para el uso correspondiente como se especifica en la Figura 43.

Cuando se den cifras tanto del área bruta como del área neta para la misma ocupación, se deberán hacer los cálculos aplicando la cifra del área bruta, y aplicando la cifra del área neta del uso específico para el cual se especifica la cifra del área neta.”
(Tomado de la sección 7.3 Capacidad de los medios de egreso de la NFPA 101 Código de seguridad humana, pág. 101-79)

Tabla 7.3.1.2 Factor de Carga de Ocupantes

Uso	pies ² (por persona)	m ² (por persona)
Uso residencial		
Hoteles y dormitorios	200	18.6
Edificios de apartamentos	200	18.6
Asilos y centros de acogida, grandes	200	18.6
Áreas alrededor de piscinas	30	2.8
Salas de ejercicios con equipos	50	4.6
Salas de ejercicios sin equipos	15	1.4
Piscinas	50 (superficie de agua)	4.6 (superficie de agua)
Uso como reuniones públicas		
Asientos fijos	Cantidad de asientos fijos	Cantidad de asientos fijos

Figura 43 Factor de carga de Ocupantes, Tabla 7.3.1.2 de la NFPA 101.

Se identifica el uso del espacio como: Circulación y hall de ascensores para las áreas los apartamentos. Y según la tabla 7.3.1.2. Factor de carga de ocupantes de la NFPA (Código de seguridad humana), una persona ocupa un área de 18.6m²

Tabla 24 Calculo ocupación de personas punto fijo

Uso	Área construida	Factor de carga de ocupantes	Personas para el Área	Alta concentración de personas
Circulación nivel -3	28 m ²	18.6	1.51	NO
Parqueaderos y circulación nivel -2	663 m ²	18.6	35.64	NO
Parqueadero y circulación nivel -1	663 m ²	18.6	35.64	NO
Parqueaderos y circulación nivel 1	663 m ²	18.6	35.64	NO
Acceso a apartamentos	66 m ²	18.6	3.55	NO

Por lo que NO se considera como un espacio de alta concentración de personas, aun así, se toman las respectivas medidas de seguridad para la evacuación segura de las personas de esa área específica del establecimiento.

- Iluminación de emergencia, ubicada en las vías de evacuación y todas las salidas de los parqueaderos.

- Medios de detección de incendios.
- Se cuenta con unas escaleras de evacuación.

Con este nivel de ocupación, NO se obliga a que el cable utilizado sea de este tipo HF-FR-LS (Halogen Free-Fire Retardant-Low Smoke) = (Libre de halógenos, retardante a la llama, baja generación de humos), igualmente se cumplen con las disposiciones del RETIE Resolución 90708 del 30 de agosto de 2013, con respecto al uso de la tubería conduit liviana tipo A, para ser embebida, PVC SCH 40 en cielo y buitrones o EMT expuesta.

ESCALERAS DE EVACUACIÓN

De acuerdo a lo calculado en el numeral anterior, se tiene lo siguiente: Por cada piso tenemos una ocupación de promedio de 16 personas (cuatro apartamentos por piso, con 4 personas por apartamentos según datos de una familia promedio) el flujo de personas por el punto fijo será 3 pisos por minuto, por lo cual la afluencia de personas en este espacio será de 48 personas, esto nos da una ocupación menor a 50 personas.

Por lo tanto, NO se obliga a que el cable utilizado sea de este tipo HF-FR-LS (Halogen Free-Fire Retardant-Low Smoke) = (Libre de halógenos, retardante a la llama, baja generación de humos), igualmente se cumplen con las disposiciones del RETIE Resolución 90708 del 30 de agosto de 2013, con respecto al uso de la tubería conduit liviana tipo A, para ser embebida, PVC SCH 40 en cielo y buitrones o EMT expuesta.

Además, se deben tomar las respectivas medidas de seguridad para la evacuación segura de las personas de esa área específica del establecimiento:

- Iluminación de emergencia, ubicada en las vías de evacuación y todas las salidas de los parqueaderos.
- Medios de detección de incendios.
- Adecuadas salidas de emergencia.

Por lo tanto, de acuerdo al cálculo de alta concentración de personas al nivel de tensión y al tipo de instalación de los cables se recomienda usar cable tipo THHN/THWN para instalar en tubería cuya temperatura máxima de operación es de 90°C, para efectos de selección de conductores se consideran las características de ampacidad a temperatura de 60°C para corrientes de hasta 100A y de 75°C para corrientes superiores a 100A.

Los conductores y demás elementos que integren el sistema eléctrico de la instalación eléctrica a las que estas memorias hacen referencia, deben estar certificados para una tensión de operación de 600V.

5 Conclusiones

- Luego de recopilar los cálculos llevado a cabo en los diferentes proyectos en los que ha participado la empresa ingenieros especialistas en ingeniería eléctrica Ienel sas, se facilitó el trabajo del equipo de diseño, debido a que en el documento de resultados es posible encontrar ejemplos que ilustran al lector sobre la elaboración y cálculo de cada uno de los literales desde la A hasta la W que conforman una instalación de diseño detallado.
- Investigar acerca de otras formas de cálculo y simulación de los literales desde la A a la W, le permitió a la empresa complementar las memorias de cálculo de diseño eléctrico para los proyectos que en el presente se encuentran en ejecución y los proyectos en los que la empresa trabajara a futuro.
- Al redactar una guía para la adecuada elaboración de unas memorias de cálculo eléctrico, le permitirá al lector de la guía complementar los conocimientos adquiridos en el curso de usuario final, preparándolo así para la vida laboral.

6 Referencias Bibliográficas

- [1]Ingenieros especialistas en ingeniería eléctrica (Ienel sas), Memorias de cálculo eléctrico, Medellín - Antioquia, 2020.
- [2]Ministerio de minas y energía de la república de Colombia, anexo general reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), Santa Fe de Bogotá – Colombia, 2013.
- [3]Instituto nacional de normas técnicas y certificación ICONTEC, Código eléctrico Colombiano NTC 2050, Santa Fe de Bogotá, 2020.
- [4] Curso de circuitos eléctricos II, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2016, Medellín – Antioquia.
- [5]Curso de Instalación de uso final, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2018, Medellín – Antioquia.
- [6]Centelsa. [En línea] Disponible en: <https://www.centelsa.com/cables-para-construccion/#tab-f61de456-e4a9-7> [Accedido 12-06-2020].
- [7]Procables. [En línea] Disponible en: <https://www.centelsa.com/cables-paraconstruccion/#tab-f61de456-e4a9-7> [Accedido 12-06-2020].
- [8]Regulación de voltaje [En Línea] Disponible en: https://es.qwe.wiki/wiki/Voltage_regulation [Accedido 04-08-2020].
- [9]Elaboración de planos eléctricos. [En Línea] Disponible en: <https://infoguia.com/infotip.asp?t=plano-electrico&a=1738> [Accedido 10-09-2020]