

**EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE USO FINAL
EN EDIFICIOS EDUCATIVOS. CASO DE ESTUDIO**

PRESENTADO POR:

ANDRÉS FELIPE FERNÁNDEZ FLÓREZ



MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

2022

**EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE USO FINAL
EN EDIFICIOS EDUCATIVOS. CASO DE ESTUDIO**

ANDRÉS FELIPE FERNÁNDEZ FLÓREZ

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA RENOVABLE CON
ÉNFASIS EN INVESTIGACIÓN.**

TUTOR: MSc. Jorge Iván Silva Ortega.

CO-TUTOR: Dr. Vladimir Sousa Santos.

MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

2022

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Barranquilla, mayo 2022

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de este proyecto, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por bríndame una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Marybel Flórez y Alfredo Fernández por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida seguir.

A mi esposa Aylin Mendoza, a mi hija Zoe Sofie, a mi hermana Eilyn Calderón, a mi abuela Trinidad, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, por llenar mi vida de alegría y amor cuando más lo he necesitado.

Le agradezco especialmente a mis profesores y directores de investigación de mi Tesis de grado, Ingeniero Jorge Silva e Ingeniero Vladimir Sousa, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos meses.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a nuestros compañeros de maestría Carlos Jiménez, Kelly Berdugo, Andrés Zambrano, Wilmer Herrera, Miguel Domínguez, Marlene Mendoza por su amistad, colaboración y apoyo en el proceso.

A todos ellos, muchas gracias.

Abstract

This research proposes the development of a procedure for evaluating end-use electrical system projects in educational buildings that allow safety, reliability, minimum losses, and access to various energy measurement points. Initially, the electrical design criteria for buildings that meet the parameters of safety, reliability, minimum losses, and access to various energy measurement points are analyzed, considering components and topologies following the regulatory requirements in Colombia. Subsequently, the steps that allow the evaluation of electrical system projects in educational buildings are described in sequence, explaining each tool used in the procedure. Finally, the procedure is evaluated from a case study in an educational building with various operating scenarios considering different technologies and modes of operation.

Keywords: educational buildings, final user, electrical design evaluation.

Resumen

La presente de investigación propone el desarrollo de un procedimiento para la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos que permitan seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía. Inicialmente se analiza los criterios de diseños eléctricos para edificaciones que se ajusten a parámetros de seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía, contemplando componentes y topologías conforme a los requisitos normativos en Colombia. Posteriormente, se describen los pasos que permiten la evaluación de proyectos del sistema eléctrico en edificios educativos en manera de secuencias explicando cada herramienta empleada en el procedimiento. Por último, se evalúa el procedimiento a partir de un estudio de un caso en un edificio educativo con varios escenarios de operación considerando diferentes tecnologías y modos de operación.

Palabras clave: edificios educativos, usuarios finales, evaluación de diseños eléctricos.

Contenido

Agradecimientos	4
Abstract	5
Resumen	6
Lista De Tablas, Figuras Y Ecuaciones	10
Lista De Tablas	10
Lista De Figuras	11
Introducción.....	13
1. Planteamiento Del Problema	16
Descripción del problema	16
Formulación del problema	19
2. Justificación	20
3. Objetivos.....	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos.....	22
4. Marco referencial	23
4.1. Marco conceptual.....	23
Estado del arte.....	25
Marco legal	29

4.1.1. Sistemas de Gestión de energía y Medio Ambiente	29
4.1.2. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)	31
4.1.3. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).....	32
4.1.4. Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050)	34
Aspecto No. 1. Seguridad e integridad física.....	36
Aspecto No. 2. Localización de cargas y factores de demanda	37
Aspecto No. 3. Sistemas de iluminación	39
Aspecto No. 4. Análisis y cálculos eléctricos.	40
Aspecto No. 5. Confiabilidad en las instalaciones	49
5. Procedimiento	52
Enfoque de investigación.....	52
Método de investigación.....	52
Diseño de investigación.....	52
Fuentes de información	52
Etapas del proyecto	53
Procedimiento para la evaluación del sistema eléctrico de uso final	55
5.1.1. Paso 1. Tipo de edificación:	55
5.1.2. Paso 2. Identificación de la etapa del proyecto:	55
5.1.3. Paso 3. Descripción de la edificación:	55
5.1.4. Paso 4. Simulación del circuito:	57
5.1.5. Paso 5. Análisis de los resultados:	59

5.1.6. Paso 6. Acceso a varios puntos de medición de la energía:	59
6. Caso de estudio: edificio educativo.....	62
6.1.1. Paso 1. Tipo de edificación:	62
6.1.2. Paso 2. Identificación de la etapa del proyecto:	62
6.1.3. Paso 3. Descripción de la edificación:	62
6.1.4. Paso 4. Simulación del circuito:	70
6.1.5. Paso 5. Análisis de los resultados:	100
6.1.6. Paso 6. Acceso a varios puntos de medición de la energía	102
7. Conclusiones	105
8. Referencias bibliográficas	107

Lista de Tablas y Figuras**Lista De Tablas**

Tabla 1. Revisión De Palabras De Búsqueda Relacionadas Con El Proyecto.	26
Tabla 2. Revisión Artículos De Investigación Relacionados Con El Proyecto.....	28
Tabla 3. Relación De Capítulos Y Artículos Para Instalaciones Eléctricas De Uso Final..	32
Tabla 4. Relación De Objetivos Y Lineamientos Para Instalaciones Eléctricas De Uso Final	33
Tabla 5. Relación De Tablas Según Sección 200 De La Ntc2050.	34
Tabla 6. Relación De Tablas Según Sección 200 De La Ntc2050.	35
Tabla 7. Requisitos De Cumplimiento Para Sistemas De Iluminación.....	40
Tabla 8. Representación Cuadro De Cargas.....	42
Tabla 9. Tipo De Edificación	55
Tabla 10. Edificación A Evaluar	55
Tabla 11. Topología De La Subestación Eléctrica.	56
Tabla 12. Emplazamiento.....	56
Tabla 13. Descripción De La Instalación En Media Tensión.....	57
Tabla 14. Descripción De La Instalación En Baja Tensión.	57
Tabla 15. Indicador De Conformidad	59
Tabla 16. Identificación De Acceso A Varios Puntos De Medición De La Energía	60
Tabla 17. Tipo De Edificación	62
Tabla 18. Edificación A Evaluar	62
Tabla 19. Cuadro De Cargas Tgd.	67
Tabla 20. Cuadro De Cargas Td2.	68

Tabla 21. Topología De La Subestación Eléctrica.	69
Tabla 22. Emplazamiento.....	69
Tabla 23. Descripción De La Instalación En Media Tensión.....	70
Tabla 24. Descripción De La Instalación En Baja Tensión.	70
Tabla 25. Método De Instalación De Referencia.....	73
Tabla 26. Resultados Prueba Protección Contra Cortocircuito	100
Tabla 27. Identificación De Acceso A Varios Puntos De Medición De La Energía	102

Lista De Figuras

Figura 1. Mapa de palabras elaborado con palabras de búsqueda consideradas en SCOPUS. Fuente: Elaboración propia, obtenido de VOSviewer.	26
Figura 2. Relación de publicaciones en SCOPUS considerando las palabras claves de la investigación. Fuente: adaptado de base de datos SCOPUS.	27
Figura 3. Principales símbolos gráficos. Fuente:(Ministerio de Minas y Energía 2013a)..	48
Figura 4. Listado de estudios, aspectos y necesidades para el diseño de una instalación eléctrica. Fuente: elaboración propia.	51
Figura 5. Subgrupos en Software CYPELEC RETIE Fuente: (CYPE Ingenieros S.A., 2019)	60
Figura 6. Procedimiento para evaluar el sistema eléctrico.....	61
Figura 7. Vista en planta piso 1.	63
Figura 8. Vista en planta piso 2.	63
Figura 9. Vista lateral corte A-A.	64
Figura 10. Vista lateral cote B-B.	64
Figura 11. Vista lateral derecha corte C-C.....	65

Figura 12. Diseño inicial del Tablero TGD.....	71
Figura 13. Resultado final del cálculo en CYPELECT RETIE.....	72
Figura 14. Comportamiento curva disparo breaker	99
Figura 15. Acceso a punto de medición de la energía (1)	103
Figura 16. Acceso a punto de medición de la energía (2)	103
Figura 17. Acceso a punto de medición de la energía (3)	104

Introducción

Los diseños de sistemas eléctricos de uso final en los sectores residenciales, comerciales, educativos, administrativos, y otros, deben estar conformes a los reglamentos de instalaciones eléctricas vigentes o su equivalente en países o regiones donde corresponda, así como las condiciones y consideraciones que los operadores de red dispongan para su debida conexión a la red de energía eléctrica. Para esto, los diseñadores y constructores deben de presentar un pliego de condiciones de estudios y requerimientos que el proyecto debe garantizar para su debida conexión.

Para realizar proyectos de diseños de sistemas eléctricos de uso final se requiere de profesionales con competencias en el diseño y la toma de decisiones para garantizar todas las conformidades del diseño presentado. No obstante, la tendencia es a desarrollar un proceso manual guiado por la experiencia y la interventoría sin considerar la optimización de los requerimientos durante la proyección y evaluación del diseño. En algunos casos, esta falta de experticia genera omisiones o decisiones de diseño que pueden comprometer la conformidad del proyecto frente a la regulación y/o reglamentación vigente.

El incumplimiento con los requisitos establecidos en los reglamentos de instalaciones eléctricas representa un riesgo para los constructores y responsables de obra, dado los posibles atrasos que se pueda generar en la conexión a la red afectando los tiempos de entrega y los compromisos adquiridos.

Entre los proyectos de sistemas eléctricos de uso final que comúnmente se desarrollan se destacan los edificios, debido a la gran incidencia energética que estos tienen,

representando un tercio de las emisiones globales de carbono a nivel global. Dentro de los edificios, aquellos que forman parte del sector educativo tienen un gran impacto social.

En la ciudad de Barranquilla, las autoridades gubernamentales han priorizado la construcción de centros educativos públicos conocidos como Mega colegios, como una solución a la alta demanda escolar de la ciudad. Estas obras se caracterizan por ser edificaciones de alta complejidad debido a la amplitud de las áreas constructivas y la diversidad en los servicios que presta (Osorio-Villegas and Patricia-Borjas 2013).

Debido a estas características, un reto importante dentro de los proyectos de construcción de los Mega colegios es el diseño del sistema eléctrico el cual debe cumplir con los requerimientos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (RETIE - Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas, 2013b). El RETIE tiene entre sus objetivos garantizar y preservar la vida y las instalaciones a fin de garantizar los criterios de seguridad al interior de la instalación de la mano de la conformidad vigente.

Otro aspecto que se puede considerar en los diseños de sistemas eléctricos de uso final es la eficiencia energética y la gestión de consumos en los usuarios finales, como elemento adicional que permitan el ahorro en el consumo de la energía y en la facturación por su uso considerando la inclusión de los sistemas de gestión eficiente de la energía.

La presente investigación propone una alternativa para la evaluación de una instalación eléctrica de uso final en edificios educativos que permitan seguridad,

confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía, considerando criterios de eficiencia y gestión de energética.

El siguiente documento se organiza en tres fases, la primera fase corresponde al marco teórico que conforma la fundamentación conceptual en relación a la investigación desarrollada, la segunda fase es la sección metodológica donde se describen los pasos del procedimiento que permitan la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos y finalmente se evalúan el procedimiento propuesto en estudios de casos en edificios educativos considerando varios escenarios de sistemas eléctricos de uso final, tecnologías y operación.

Los resultados obtenidos de la presente investigación podrán usarse como referencia para proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos, donde se pretenda lograr la optimización del diseño mediante el uso de herramientas de simulación, que permitan alcanzar la conformidad y cumplimiento de la normatividad vigente.

1. Planteamiento del problema

Descripción del problema

Cada vez son más los países que impulsan medidas que buscan mejorar el uso eficiente de la energía, ya sea de forma voluntaria o mediante la imposición de regulaciones o acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto para los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (Kimmooon 2008).

Como resultado de estas acciones, aproximadamente el 70% de los países han creado programas de eficiencia energética, que tienen como objetivo asegurar el suministro de energía de forma eficiente, mantener el equilibrio con los recursos naturales con el menor impacto ambiental posible, promover el uso de fuentes energéticas alternativas y renovables, desarrollar marcos regulatorios que propicien medidas de eficiencia energética, estimular el mercado de tecnología eficiente mediante incentivos económicos y facilitando mecanismos financieros apropiados, así como el fomento de la investigación en materia energética.

En el mes de diciembre del año 2016, el Ministerio de Minas y Energía (MME), en conjunto con la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), propuso un Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 – 2022 “Una realidad y oportunidad para Colombia”. En este plan, se hace un análisis de los sectores de mayor consumo transporte, industria, comercio y residencial, y se proponen tecnologías, procesos, prácticas operacionales y límites de consumos energéticos alineadas con iniciativas como los Planes de Acción Sectorial (PAS). Estos planes se

derivan de la estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono para la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), comprometido por el país para el año 2030 en la COP21 (UPME 2017). Según estas directivas la eficiencia en el uso de la energía se basa en el suministro energético, sustentado en el uso de nuevas tecnologías eficientes y la adopción de buenas prácticas, con el fin de optimizar el manejo y uso de los recursos energéticos disponibles. Entre las propuestas de acciones y medidas sectoriales para lograr este fin se destacan (UPME 2017):

- Sistemas eléctricos de uso final: Las buenas prácticas en los sistemas eléctricos de uso final y en la calidad de la energía tienen un potencial de aplicación del 40% y de mejora en la eficiencia del 3% en el país. Esta medida tiene un impacto en el ahorro de energía eléctrica del 0.58%, en el sector industrial, 0.09% en el sector residencial y 0.03% en todo el país del, representando un ahorro de consumo final de 2440 TJ y la reducción en la emisión de 263 kT de gases de efecto invernadero (CO₂).
- Refrigeración y aire acondicionado: Las buenas prácticas en el uso, mantenimiento de las superficies de los intercambiadores de calor y en la correcta operación de los sistemas de refrigeración bajo condiciones de presión y temperatura con que fueron diseñados, tienen un potencial de aplicación del 70% y de eficiencia de un 10% en el país. Estas medidas pueden tener un impacto en el ahorro de energía de 0.18% en el sector industrial, 0.03% en el sector residencial y 0.01% en el consumo del país, representando un ahorro de consumo final de 751 TJ y la reducción en la emisión de 317 kT de gases de efecto invernadero (CO₂). En este sector debe de destacarse el gran potencial que

representa la tercerización del servicio mediante la demanda y oferta de energía térmica de frío en parques industriales.

- Iluminación: Las buenas prácticas en el diseño, instalación, control, mantenimiento y renovación de los sistemas de iluminación tiene un potencial de aplicación del 60% y un potencial de eficiencia del 30%, considerando el uso de luz solar, mantenimientos simples y sistemas de control automáticos en el país. La sustitución de equipos y sistemas de iluminación de baja eficiencia tiene un potencial de aplicación del 30% y un potencial de mejora de la eficiencia del 40%. Estas medidas tienen un impacto en el consumo de la energía eléctrica en el sector industrial de un 0.40%, del sector residencial de un 0.07%, y de 0.02 sobre la energía final del país equivalente al consumo final de 1715 TJ y 185 kT de gases de efecto invernadero (CO₂).

Las acciones, medidas sectoriales y estrategias propuestas para el cumplimiento de las metas en eficiencia energética, se enfocan en instalaciones existentes. Sin embargo, en las normas de diseño de sistemas eléctricos de uso final, no existen recomendaciones y/o lineamientos directos en las indicaciones del diseño de los proyectos que estén orientados a la eficiencia energética, pues solo se hace referencia a “buenas prácticas en diseño”. En resumen, en Colombia aún existen limitantes y restricciones en los procedimientos y normas de evaluación de sistemas eléctricos de uso final que contemplen criterios de eficiencia energética y que por lo tanto debe de ser objeto de estudio.

Formulación del problema

¿Qué procedimiento puede aplicarse para la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos que permitan la seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía?

2. Justificación

En la actualidad, es necesario un modelo de crecimiento sostenible en el que predomine el respeto al medio ambiente y el bienestar de la sociedad. Esta necesidad se ve amenazada debido a la creciente demanda energética y al posible agotamiento de las fuentes de energía convencionales, lo que obliga a la búsqueda de alternativas dirigidas al uso eficiente de la energía.

En el caso de las edificaciones se han desarrollado soluciones de productos y sistemas destinados a mejorar la eficiencia energética de una manera global. Un enfoque que se resalta en la literatura es la implementación de sistemas que se basan en el uso de fuentes de energía alternativa para la refrigeración y la calefacción, acompañado de su uso eficiente que permite reducir las pérdidas de energía, las cuales reducen las emisiones contaminantes y permiten ajustarse al presupuesto de los clientes.

En algunos países los gobiernos han desarrollado normas de certificado de rendimiento energético (EPC) para edificios con el objetivo de promover el desarrollo sostenible y acelerar el progreso hacia el sector de la construcción ecológica (Fan and Xia 2018)

En las normas vigentes en Colombia como el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) se establecen las especificaciones mínimas de cumplimiento para los diseños de redes

eléctricas basados en la seguridad y en los cálculos económicos, mientras que la norma ISO 50001 se describen los requisitos generales para el diseño de un sistema de gestión de la energía. En estos documentos no se hace referencia a las buenas prácticas en el diseño de los sistemas eléctricos de uso final para lograr niveles de eficiencia en edificaciones, ni se evidencia un procedimiento que pueda aplicarse para el diseño de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificaciones (ICONTEC 2019). En los casos del RETIE y la NTC2050 se destaca que estos documentos de referencia se encuentran en proceso de actualización en relación con los cambios tecnológicos que se han venido suscitando Durante la última década. A continuación, se relacionan los impactos del presente trabajo:

- Impacto científico: se propone un aporte en el fortalecimiento de las líneas de investigación en eficiencia energética desde el área de diseños de sistemas eléctricos de uso final para propiciar el fomento y participación de criterios de eficiencia energética soportados por la normativa colombiana.
- Impacto económico: el diseño de los sistemas eléctricos de uso final en edificaciones enfocado en la eficiencia de la energía puede impactar en el ahorro de la energía y de facturación. Además, con la implementación de este proyecto se busca establecer herramientas para el desarrollo de consultorías a empresas de ingeniería eléctrica con un nuevo enfoque en los diseños de sistemas eléctricos de uso final.
- Impacto social: se busca que los resultados del trabajo impacten mediante difusión y apropiación social del conocimiento a las comunidades interesadas.

3. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un procedimiento que permita la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos que permitan seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía.

Objetivos específicos

- Analizar los criterios de diseños de sistemas eléctricos de uso final para edificaciones que se ajusten a parámetros de seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía.
- Describir los pasos del procedimiento que permitan la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos.
- Evaluar el procedimiento propuesto en estudios de casos en edificios educativos considerando varios escenarios de sistemas eléctricos, tecnologías y operación.

4. Marco referencial

4.1. Marco conceptual

A continuación, se describen los conceptos más relevantes asociados al marco de la presente investigación.

El modelado de información de construcción o de edificación (BIM, *Building Information Modeling*), es una herramienta que permite el proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida de forma dinámica, con una modelación tridimensional y en tiempo real, reduce los tiempos y recursos de diseño para la construcción. Esta herramienta produce el modelo de información del edificio o la infraestructura civil abarcando la geometría de la obra de construcción, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes incluyendo detalles de fabricantes de puertas o datos energéticos de un equipo. (Vill, Rosin, and Lehtla 2016) (Thornburg and Krogh 2017) (Cerezo Davila, Reinhart, and Bemis 2016).

El BIM también permite la modelación del proceso completo de la edificación, incluyendo la ingeniería civil, mantenimiento demolición, ámbitos laborales, detalles de componentes y secuencias de actividades de construcción (De, Modeling, and Bim 2020).

Los BIM son capaces de lograr dichas mejoras por medio de representaciones de las partes y los componentes que están siendo utilizados en la construcción de un edificio o infraestructura civil. La representación asistida por computadora basada en objetos es un

cambio sustancial en la tradicional elaboración basada en la representación vectorial. (Scherer and Katranuschkov 2018) (Kipping and Trømborg 2018) (Karlsen, Hamdy, and Attia 2020) (Aljehani, Nitsche, and Al-Hallaj 2020).

Gestión de la demanda y medición inteligente de energía

El término de gestión de la demanda se emplea para indicar un conjunto de acciones dirigidas a gestionar de forma eficiente el consumo de una instalación eléctrica, orientado a generar estrategias que permitan reducir los costos del suministro energético, de las tarifas de acceso a la red y de consumo, incluyendo aspectos legales contemplados desde el diseño (Murcia 2017) (Naspolini, Militão, and Rüter 2010) (De Coninck et al. 2014) (Krishnanand et al. 2014) .

Las acciones para la gestión de la demanda están dirigidas a evaluar las características del consumo de energía eléctrica, considerando energía consumida, perfil de demanda y aspectos del contrato de energía, con el propósito de gestionar el consumo de energía. (Zhao et al. 2015) (Makhmalbaf and Augenbroe 2015) (Lindberg et al. 2016) (Hussain and Qadeer-Ul-Hassan 2017) (Lana et al. 2017) (Bazydło and Wermiński 2018) (O'Connell et al. 2019) (Cheng et al. 2020).

La medición inteligente de la energía es una solución compuesta por medidores inteligentes, infraestructura de telecomunicaciones y sistemas centrales, que permite una gestión remota y automática de la red de distribución de energía eléctrica utilizada, así como un flujo bidireccional de información, permitiendo optimizar su funcionamiento (Anon 2020) (Berdner et al. 1994) (Wang, Chen, and Zhang 2007) (Lee et al. 2012) (Boehm 2012) .

Gestión de proyectos eléctricos

La gestión de proyectos eléctricos puede concebirse como la aplicación del conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas aplicado a las diversas actividades que se desarrollan a lo largo de proyectos de Ingeniería Eléctrica; y por medio de las cuales se pretende cumplir los siguientes requisitos: Alcance, plazos, costos y calidad (Koezjakov, Urge-Vorsatz, Crijns-Graus, & van den Broek, 2018) (Arteconi, Mugnini, and Polonara 2019) (Harirchi, Hadidi, and Schroeder 2019) (Mugnini, Polonara, and Arteconi 2019) (Peltokorpi et al. 2019) (Carstens, Xia, and Yadavalli 2017) (Sancho-Tomás, Sumner, and Robinson 2017) (Capozzoli, Piscitelli, and Brandi 2017).

Iluminación en edificaciones

Este término hace referencia al diseño del sistema de iluminación en edificaciones, el cuál es un conjunto de técnicas para el tratamiento de luz orientadas a iluminar espacios arquitectónicos interiores o exteriores, relativa al diseño de los sistemas de iluminación, incluyendo luz natural, eléctrica o artificial, o ambas, para servir las necesidades humanas (Iluminaci 2020) (Bakker et al. 2013) (Hu and Li 2013) (Atzeni et al. 2013) (Billas et al. 2019) (Strielkowski et al. 2019).

Estado del arte

Durante el desarrollo de esta investigación se realizó una búsqueda en las bases de datos SCOPUS principalmente, tomando como referencia las palabras claves mostradas en la **Tabla 1** que se relacionan con los objetivos del tema. Como resultado de la búsqueda, se observa que existen pocas investigaciones en relación con el tema en específico de este

proyecto, caso que brinda la oportunidad de ser pioneros en la producción de investigación en temas que asocien: demanda de energía, edificaciones, diseño eléctrico y sistemas eléctricos de uso final.

Tabla 1.

Revisión de palabras de búsqueda relacionadas con el proyecto.

No.	Palabra clave	No. de resultados
1	<i>Demand-side management</i>	7856
2	<i>Demand-side management, electric utilities</i>	3639
3	<i>Demand-side management, electric utilities, buildings</i>	627
4	<i>Demand-side management, electric utilities, buildings, design</i>	76

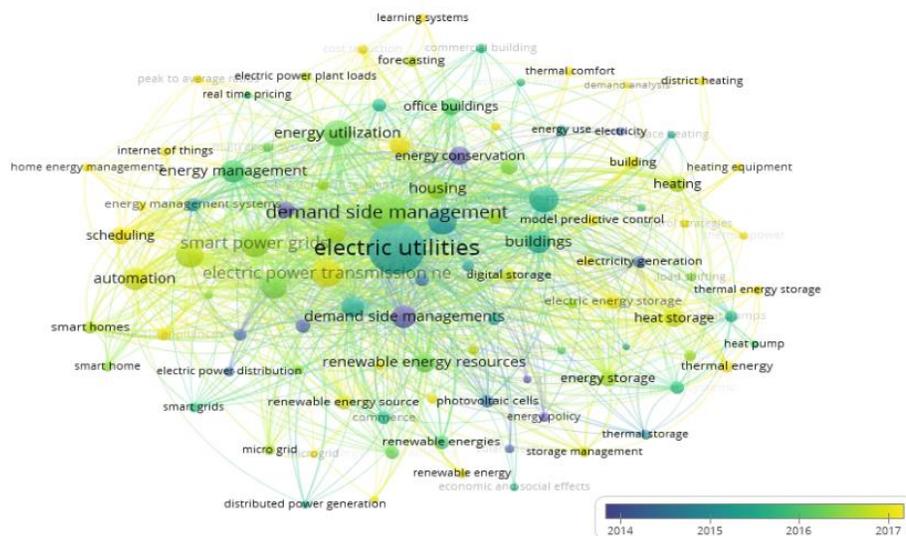
Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura relaciona la interacción de palabras claves efectuada con la consulta sistemática realizada en las bases de datos obtenido de la herramienta VOSviewer.

Figura 1.

Mapa de palabras elaborado con palabras de búsqueda consideradas en SCOPUS.

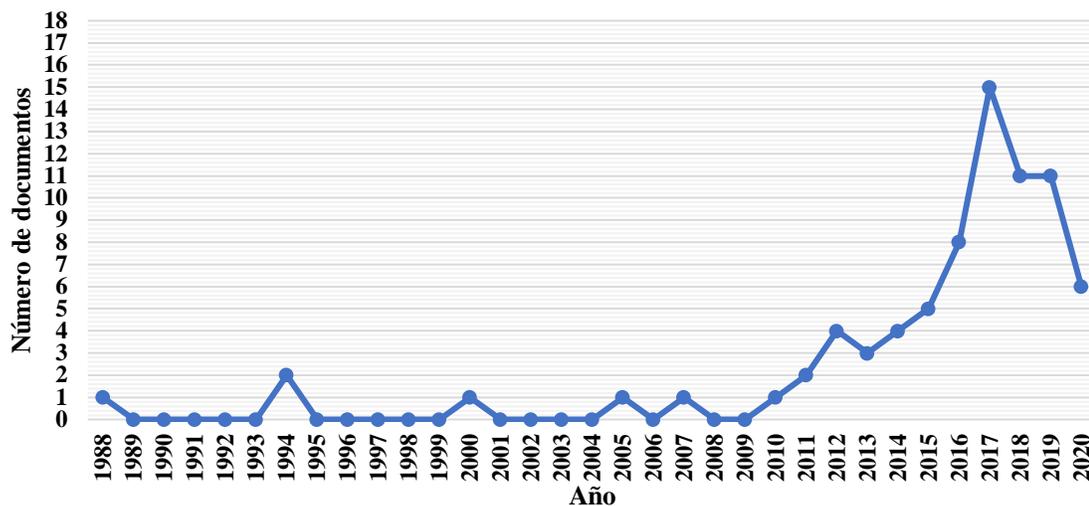
Fuente: Elaboración propia, obtenido de VOSviewer.



La siguiente figura presenta el comportamiento de la cantidad de artículos por año obtenidos en la base de datos de Scopus a partir de las palabras claves seleccionadas.

Figura 2.

Relación de publicaciones en SCOPUS considerando las palabras claves de la investigación. Fuente: adaptado de base de datos SCOPUS.



Según lo mostrado en la **Figura 2**, a partir del año 2010 se evidencia un marcado interés por la comunidad científica por el tema de diseño de edificios incluyendo aspectos de eficiencia energética y herramientas para la gestión de obras eléctricas, incluyendo normas técnicas internacionales como la NFPA 70 (NEC), UNE 222009 (Guía para Verificación e Inspección de las Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión) e ISO 50001 y la familia de normas relacionadas. En el año 2017 se presentó la mayor cantidad de publicaciones.

Se destaca que para la investigación también fueron considerados documentos normativos nacionales e internacionales que tributan a la investigación, así como

manuales de usuarios y demás documentos revisados durante la etapa de revisión del estado del arte.

La **Tabla 2** describe de forma cronológica los hitos que aportan a este proyecto y la explicación de su campo de estudio relacionada con la presente investigación.

Tabla 2.

Revisión artículos de investigación relacionados con el proyecto.

País	Referencia	Año	Aporte
Sur África	(Fan and Xia 2018)	2018	Estándar de certificación para rendimiento energético en edificaciones. Impulsar la construcción de edificios verdes y optimizar la toma de decisiones para identificar la mejor combinación de opciones en adaptaciones para edificios.
Italia	(Vigna et al. 2018)	2018	Sistemas para edificios capaz de gestionar su demanda y generación de energía de acuerdo con el clima global con el uso de energías alternativas y convencionales.
USA	(Krarti and Dubey 2018)	2018	Descripción del enfoque y potencial de costo-efectividad para diseñar y modernizar viviendas de edificios para ser energéticamente eficientes.
Hungría	(Koezjakov et al. 2018)	2018	Estudio entre la demanda de calor y la energía incorporada en ella para la reducción de consumos en edificaciones.
China	(Ge et al. 2018)	2018	Rendimiento térmico de las edificaciones ante el clima del entorno, modernización de eficiencia energética para colegios y universidades.
Alemania	(Scherer and Katranuschkov 2018)	2018	Diseño y construcción de instalaciones eléctricas bajo metodología <i>Building Information Modeling</i> (BIM). Caso de estudio para edificaciones.

País	Referencia	Año	Aporte
Irán	(Sepehr et al. 2018)	2018	Planificación y gestión de las redes de distribución y la asignación de recursos en la construcción de edificaciones y sus sistemas eléctricos como información del consumo de energía.
Ghana	(Gyamfi et al. 2018)	2017	Situación de la eficiencia de la energía en este país. Desafío con la seguridad del suministro y la calidad de la energía, relación de la oferta y demanda de energía. Análisis para minimizar pérdidas en las instalaciones eléctricas.
USA	(Cobb et al. 2016)	2016	Desarrollo de un diseño eléctrico eficiente de una estructura comercial para una institución académica postsecundaria.
Italia	(Symp 2012)	2012	Estudio detallado de las intervenciones y técnicas para controlar la demanda en los sectores residencial y terciario y los efectos que estas acciones tienen en todo el sistema eléctrico y su administración.

Marco legal

A continuación, se describen las normativas y reglamentos vigentes de uso en Colombia para la total conformidad en el cumplimiento de diseño y construcción de sistemas eléctricos de uso final, asociadas a la investigación de este proyecto.

4.1.1. Sistemas de Gestión de energía y Medio Ambiente.

Los edificios representan más de un tercio de todo el consumo final de energía y la mitad del consumo mundial de electricidad y son responsables de aproximadamente un tercio de las emisiones globales de carbono (Anon 2019). Según la Agencia Internacional de Energía (EIA: por sus siglas en inglés: *Energy Information Agency*), el consumo de energía en los edificios debe reducirse en un 80% para 2050 para limitar el ascenso de la temperatura promedio a nivel mundial.

Para lograr este objetivo, se han aprobados normas como la nueva serie ISO 52000 que incluye la norma ISO 52000-1, Rendimiento energético de los edificios – Evaluación general de EPB – Parte 1: marco general y procedimiento, como documento principal para acelerar la eficiencia energética en el mercado de la construcción a nivel mundial. En algunos países estas normas han servido de base para procesos de certificación de carácter obligatorio (Anon 2019).

La ISO 52000 contiene un método integral tanto para evaluar el rendimiento energético como para la energía primaria total utilizada para calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, agua caliente sanitaria en los edificios (Anon 2019).

La norma ISO 50001 ha sido diseñada para ser implementada en cualquier organización independientemente de tu tamaño, sector y ubicación geográfica ofreciendo los siguientes beneficios:

- Ayudar a las organizaciones a un consumo más eficiente de los recursos.
- Facilitar la transparencia/comunicación en la gestión de los recursos energéticos.
- Promover las mejores prácticas de gestión de energética.
- Ayudar a evaluar y priorizar la implementación de nuevas tecnologías de eficiencia energética.
- Proporcionar el marco de eficiencia energética a lo largo de la cadena de suministro.
- Facilitar la mejora de la gestión energética de los proyectos de reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

- Integración con los sistemas de gestión ya existentes en la organización.

Ninguna de las familias de norma ISO 50001 vincula el diseño de los sistemas eléctricos de uso final con la eficiencia en edificaciones.

4.1.2. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)

La resolución 180398 de 2004 expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE creado por el y tiene como objeto fundamental establecer las medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico, sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos (Ministerio de Minas y Energía 2004). Adicionalmente, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento; la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos y equipos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas.

Este reglamento, es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y uso de la energía eléctrica (Ministerio de Minas y Energía 2013b). A continuación se destacan los artículos y capítulos considerados como fundamentales para el desarrollo de la investigación y en específico para instalaciones eléctricas de uso final.

A continuación se relacionan los capítulos y artículos del reglamento conforme al diseño de sistemas eléctricos de uso final en la siguiente **Tabla 3** (Ministerio de Minas y Energía 2013a):

Tabla 3.

Relación de capítulos y artículos para instalaciones eléctricas de uso final.

No.	Capítulo	Artículo	Relevancia del artículo
1	2	10	Requerimientos generales de las instalaciones eléctricas
2		27	Requisitos generales para las instalaciones de uso final
3	8	28	Requisitos específicos según el tipo de instalación
4		34	Demostración de conformidad de las instalaciones eléctricas
5	10	35	Revisión de las instalaciones.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía 2013a)

4.1.3. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)

Este reglamento tiene como objetivo principal del RETILAP es establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, atendiendo a la protección de la vida de las personas, la preservación del medio ambiente y la seguridad del abastecimiento de energía.

El RETILAP exige que se cumplan sus literales tanto en el diseño, la operación y los materiales que se usen, para que los sistemas de iluminación sean seguros y confiables. Adicionalmente, tiene unos objetivos específicos resumidos en los siguientes lineamientos en la siguiente **Tabla 4** (RETILAP 2010):

Tabla 4.

Relación de objetivos y lineamientos para instalaciones eléctricas de uso final.

No.	Objetivo
1	Fijar las condiciones para evitar accidentes por deficiencia en los niveles de iluminación, luminancia y uniformidad en vías, vivienda, sitios de trabajo, establecimientos que presten algún servicio al público, lugares donde se concentren personas bien sea por motivos, comerciales, culturales o deportivos.
2	Establecer las condiciones para prevenir accidentes o lesiones en la salud visual causados por sistemas de iluminación deficientes.
3	Fijar las condiciones para evitar el desperdicio de iluminación en dirección de la bóveda, este causada por mal diseño de instalaciones o ejecuciones defectuosas.
4	Establecer las condiciones para evitar alteraciones en los ciclos naturales de animales causada por desperdicio en iluminación intrusiva continua en su hábitat.
5	Establecer las condiciones para evitar daños o realización de riesgos laborales debidos a deslumbramiento causado por exceso o carencia de luz.
6	Establecer las eficacias mínimas, los valores de pérdidas y las eficiencias para algunas fuentes luminosas, balastos y luminarias.
7	Unificar parámetros y minimizar las deficiencias en los diseños de iluminación interior y exterior.
8	Fijar los requisitos de algunos productos destinados a iluminación, orientados a lograr su confiabilidad y compatibilidad.
9	Establecer las responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, interventores, operadores, inspectores, propietarios y usuarios de instalaciones de iluminación, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos y las personas jurídicas relacionadas con la gestión, operación y prestación del servicio de alumbrado público.
10	Prevenir los actos que puedan inducir a error a los usuarios, tales como la utilización o difusión de indicaciones incorrectas o falsas o la omisión de datos verdaderos que no cumplen las exigencias del reglamento.
11	Exigir requisitos para contribuir con el uso racional y eficiente de la energía y con esto a la protección del medio ambiente y el aseguramiento del suministro eléctrico.

4.1.4. Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050)

El objetivo de este código es salvaguardar la vida de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. El documento contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad y con cumplimiento de estas y el mantenimiento adecuado, darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos. Cabe destacar que este código no pretende ser utilizado como un manual de instrucciones para personal no calificado, lo que limita sus uso.

En la sección 200 de la NTC 2050 se define los tipos de espacios que se encontraran en un proyecto: unidades de vivienda, oficinas administrativas, instituciones educativas, iglesias, hospitales, zonas agrícolas, entre otras. Así mismo consideraciones y tablas según el espacio para el cálculo de acometidas como puede observarse en la **Tabla 5.** (ICONTEC 1998)

Tabla 5.

Relación de tablas según sección 200 de la NTC2050.

Relación de tabla	Descripción de tabla
Tabla 220-3	Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación.
Tabla 220-11	Factores de demanda para alimentadores de cargas de alumbrado.
Tabla 220-13	Factores de demanda para cargas de tomacorrientes en edificaciones no residenciales.
Tabla 220-32	Cálculo opcional de los factores de demanda de unidades multifamiliares con tres o más viviendas.
Tabla 220-34	Método opcional para calcular los factores de demanda de los conductores de alimentadores y de acometidas en instituciones de enseñanza.
Tabla 220-40	Método para calcular las cargas de instalaciones agrícolas que no sean unidades de vivienda.
Tabla 220-41	Método de cálculo de la carga total de una instalación agrícola.

Tabla 230-51	Soportes y distancias de los conductores individuales a la vista en acometidas.
Tabla 250-94	Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de C.A.

En la sección 300 se define el tipo de conductor que debe de seleccionarse de acuerdo al tipo de instalación y a las especificaciones del diseño atendiendo cada una de las tablas de conductores señaladas tal como se puede observar en la **Tabla 6** (ICONTEC 1998).

Tabla 6.

Relación de tablas según sección 200 de la NTC2050.

Relación de tabla	Material y/o temática	Descripción
Tabla 300-5	Enterramiento de conductores	Requisitos mínimos de enterramiento en instalaciones de 0V a 600V nominales.
Tabla 300-19	Separación de conductores	Distancia máxima entre los soportes de los conductores para canalizaciones verticales.
Tabla 310-16	Capacidades nominales de corriente en conductores aislados.	Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2000V nominales y 60C a 90C. No más de tres conductores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C
Tabla 310-17	Capacidades nominales de corriente en conductores sencillos aislados.	Capacidad de corriente permisible de conductores sencillos aislados para 0 a 2000V nominales al aire libre y temperatura ambiente en 30°C.
Tabla 325-11	Cables con separados integrado de gas tipo IGS..	Radio mínimo de curvatura.
Tabla 325-14		Capacidad de corriente de los cables de tipo IGS.
Tabla 325-22		Dimensiones de los tubos
Tabla 346-10	1. Tubo conduit metálico rígido.	Radio de curvatura de los tubos conduit.
Tabla 346-12		Soportes para tino conduit metálico rígido.
Tabla 347-8:	Tubo conduit rígido no metálico	Soporte de los tubos rígidos no metálicos.
Tabla 349-20	Tubería metálica flexible.	Radios de curvatura de tuberías para uso flexible y fijas

4.5 Aspectos considerados en el procedimiento para la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos

El procedimiento desarrollado para la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos en edificios educativos tuvo en cuenta los cinco aspectos siguientes: seguridad e integridad física, confiabilidad en las instalaciones, localización óptima de carga y factores de demanda, sistema de iluminación, análisis y cálculos eléctricos. A continuación, se describen las características de estos aspectos.

Aspecto No. 1. Seguridad e integridad física

La seguridad es una disciplina encargada de la protección y reducción de los riesgos de las personas y su patrimonio. En este caso los accidentes con origen eléctrico o a causa de la instalación eléctrica, deben ser mitigados a fin de garantizar, preservar las edificaciones y la vida humana. Habitualmente, los reglamentos y normas internacionales tienen como propósito dentro de los capítulos o secciones, destacar los principios claves de la seguridad contra el riesgo eléctrico a fin de mitigar posibles accidentes o incidentes.

Como riesgos a mitigar se encuentran: los contactos directos, contactos indirectos, arcos eléctricos, ausencia de electricidad, cortocircuitos, equipos defectuosos, descargas atmosféricas no apantalladas, estática, exceder los límites nominales de operación (admisibles), tensión de paso y tensión de contacto (Shah and Hewitt 2016).

Las normas y organismos que se encargan de recomendar medidas para garantizar la seguridad ante riesgo eléctrico en una instalación recurren a la elaboración de matrices de riesgo. Estas matrices deben garantizar los siguientes aspectos metodológicos (Ministerio de Minas y Energía 2013a):

- Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.

- Definir si el riesgo es potencial o real.
- Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa.
- Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia y a la frecuencia determinada.
- Replicar los aspectos señalados para los riesgos identificados.
- Considerar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual determinará el nivel de riesgo de la instalación para identificar los riesgos más severos.
- Tomar las decisiones, acciones y referencias correspondientes a cada nivel de riesgo.

Habitualmente los niveles de riesgos son categorizados como: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Y la frecuencia de estos riesgos como: no ocurrido en el sector, han 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. (Papaioannou et al. 2017)

Las matrices de riesgo deben ser visibles, ser conocidas por la comunidad de interés y hacer capacitaciones entorno al riesgo eléctrico que se puedan presentar en las instalaciones eléctricas. Por ejemplo, para el caso de instituciones educativas, se debe socializar a la comunidad académica los riesgos presentes en la instalación eléctrica, medidas a tomar en situaciones de riesgo y notificación de accidentes (Wilcutt 1988).

Aspecto No. 2. Localización de cargas y factores de demanda

En un sistema de distribución energía eléctrica la carga es considerada la parte terminal del sistema, esta convierte la energía eléctrica a otra forma de energía. Este concepto

incluye a todos los artefactos que requieren de energía eléctrica para funcionar o realizar un trabajo. La suma de potencias de placa de todos los artefactos de consumo asociados al sistema de distribución de energía eléctrica constituyen su carga conectada (CC) y representan la máxima demanda posible de una instalación (Di Lecce et al. 2014).

La demanda eléctrica de un sistema es la intensidad de corriente, o potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar. Ese lapso se denomina intervalo de demanda, y su indicación es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda (Bukoski, Chaiwiwatworakul, and Gheewala 2017).

Se debe realizar una adecuada diversificación de las cargas para dimensionar apropiadamente el transformador, estos factores de demanda suelen estar señalados y sugeridos por normas internacionales para el diseño de instalaciones eléctricas, destacando los siguientes factores de demanda:

- Factores de demanda para tomacorriente.
- Factor de demanda de alumbrado.
- Factor de demanda de secadora.
- Factor de demanda de estufas eléctricas, hornos y calentadores.
- Factor de demanda opcional para edificios multifamiliares.
- Factor de demanda de equipos de cocina comercial.
- Factor de demanda de instalaciones educativas.
- Factor de demanda de instalaciones agrícolas.

La mayoría de las compañías de servicio eléctrico distinguen el comportamiento de la demanda sobre una base de clases, caracterizando cada clase por un punto máximo de carga diario (PCD) “típico”. El PCD típico representa el patrón de uso esperado de la carga para un cliente una clase determinada el día de la demanda máxima del sistema, esto es, el día pico (durante el cual el sistema de distribución debe soportar la mayor exigencia del año calendario). Tales perfiles describen los aspectos más importantes desde el punto de vista del planificador de distribución: la magnitud de la demanda máxima o pico de carga por cliente, la duración del pico, y la energía total consumida. Durante la planificación, es una práctica común suponer que el comportamiento de un perfil típico es cíclico (Molinari and Zonta 2017).

Aspecto No. 3. Sistemas de iluminación

En los sistemas de iluminación interior y exterior de las instalaciones eléctricas, se deben garantizar los niveles y calidades de energía lumínica en la actividad visual que se desarrolla, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección de las personas y la prevención del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los posibles riesgos de la instalación y su uso de conforme a los requisitos de las normativas vigentes (Hu et al. 2014).

Con el fin de dar cumplimiento a estos requisitos se debe de considerar los aspectos descritos en la siguiente **Tabla 7**. (ICONTEC 1998)

Tabla 7.*Requisitos de cumplimiento para sistemas de iluminación.*

No.	Requisitos de cumplimiento
1	Fijar las condiciones para evitar accidentes por deficiencia en los niveles de iluminación, luminancia y uniformidad en vías, viviendas, sitios de trabajo, establecimientos que presten algún servicio al público y lugares donde se concentren personas que desarrollen actividades comerciales, culturales o deportivos
2	Establecer las condiciones para prevenir accidentes o lesiones en la salud visual causados por sistemas de iluminación deficientes
3	Fijar las condiciones para evitar el desperdicio de iluminación en dirección de la bóveda celeste causada por mal diseño de instalaciones o ejecuciones defectuosas
4	Establecer las condiciones para evitar alteraciones en los ciclos naturales de animales causada por desperdicio en iluminación intrusiva continua en su hábitat
5	Establecer las condiciones para evitar daños o realización de riesgos laborales debidos a deslumbramiento causado por exceso o carencia de luz
6	Establecer las eficacias mínimas, los valores de pérdidas y las eficiencias para algunas fuentes luminosas, balastos y luminarias
7	Unificar parámetros y minimizar las deficiencias en los diseños de iluminación interior y exterior
8	Establecer las responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, interventores, operadores, inspectores, propietarios y usuarios de instalaciones de iluminación, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos, así como las personas jurídicas relacionadas con la gestión, operación y prestación de alumbrado público.
9	Prevenir los actos que puedan inducir a errores a los usuarios, tales como: la utilización o difusión de indicaciones incorrectas o falsas, o la omisión de datos que no cumplen las exigencias de las normativas vigentes.
10	Fijar los requisitos de algunos productos destinados a la iluminación, orientados a lograr su confiabilidad y compatibilidad.
11	Exigir requisitos que permitan contribuir con el uso racional y eficiente de la energía, la protección del medio ambiente y el aseguramiento del suministro eléctrico.

Aspecto No. 4. Análisis y cálculos eléctricos.**Selección de conductores**

Desde el punto de vista de las normas, los conductores se identifican por un número que se corresponde al calibre, y que normalmente se rige con el sistema americano AWG

(*American Wire Gage*), siendo el más grueso el 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8 10 ,12 hasta 14 que es el más delgado utilizado en instalaciones eléctricas.

La capacidad de los conductores en A y en W pueden variar con el tamaño del calibre del conductor. Los conductores actualmente se fabrican con aislantes de tipo termoplástico con distintas denominaciones comerciales, según el tipo de fabricante, siendo los más conocidos por ser a prueba de agua entre otras propiedades los siguientes: tipo TW, Vinanel 90, Vinanel Nylon y Vulcanel Xlp.

Conforme a la normativa colombiana, para la selección de conductores se deben tener en cuenta las siguientes especificaciones: Aislamiento, rótulos, etiquetas, resistencia mecánica, capacidad de corriente nominal y usos. Estos requisitos no se aplican a los conductores que forman parte integral de equipos como motores, controladores de motores y similares (Ministerio de Minas y Energía 2013a).

Cuadros de carga

Un cuadro de carga es una planilla de cálculo que ofrece un campo de visión amplio y claro de todos los circuitos de la instalación, de manera que permite identificar tanto el número de circuitos, lugares a las cuales llega a tener cobertura, así como tipo de carga y la cantidad de circuitos que posee. Para tener toda la información requerida en un cuadro de carga, es necesario hacer una memoria de cálculo con los datos siguientes:

- La capacidad de la carga (VA/HP).
- Salidas de los circuitos (o salida en caso de uno).
- La corriente nominal.

- La corriente con el factor de sobredimensionamiento.
- El calibre del cable según la corriente sobredimensionada (AWG/kcmil).
- El valor de carga enfocada en una barra (En caso de ser monofásico es el mismo valor).

La memoria de carga es anexada en el cuadro de carga de manera que se pueda realizar una buena distribución de las cargas en la instalación evitando sobrecarga en una de las barras eléctricas del sistema (Martirano et al. 2015).

Tabla 8.

Representación cuadro de cargas.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN APTO No. _____										
DESCRIPCIÓN	CTO		BREAKER		BARRAJE		BREAKER		CTO	
	No.	POLOS	AMP	A	B	POLOS	AMP	No.	DESCRIPCIÓN	
LUCES 120V	1	1	20	●	●	1	20	2	TOMAS 120V SALA Y HABITACIONES	
TOMAS 120V COCINA Y BAÑOS	3	1	20	●	●	1	20	4	AIRE HABITACION 1	
AIRE HABITACION 2	5	1	20	●	●	1	20	6	AIRE HABITACION PRINCIPAL	
AIRE HABITACION PRINCIPAL	7	1	20	●	●	1	20	8	AIRE HABITACION 2	
AIRE HABITACION 1	9	1	20	●	●	1	20	10	TOMAS 120V NEVERA	
TOMAS 120V LAVADORA	11	1	20	●	●	1	20	12	RESERVA	

Un cuadro de carga está constituido por los componentes de la instalación como: la canalización, el alambrado, el número de salidas del circuito, etc., y cada uno de ellos aporta información para el avance del proyecto. La información que administra la memoria de cálculo también es utilizada para el desarrollo del diagrama unifilar.

A continuación, se describen los parámetros que constituyen la planilla de cálculo, y la forma de colocar la información correspondiente.

A) Circuitos

Esta información, que es utilizada en el diagrama unifilar, representa el número de circuitos correspondientes al tablero de distribución. Estos se organizan con los circuitos impares y pares (según la enumeración) agrupados en lados diferentes.

B) Descripción

En esta columna de la planilla se coloca la numeración y el nombre del circuito, para distinguirlo del resto del circuito. En la descripción siguiente “Circuito de iluminación de la cocina #2”, se informa que hay más de un circuito de iluminación en la cocina de la instalación. En la descripción debe ir la información lo más detallada posible con los datos de enumeración y nombre identificados en el plano, de manera que durante la instalación se conozca el lugar exacto del circuito.

C) Salidas

Un dato que se debe de conocer al llenar el cuadro de carga, es si la carga será única o si el circuito contará con más de una salida. Por ejemplo, si es un circuito de tomacorriente debido a su capacidad colocar una sola salida no lo hace muy provechoso, por lo que se puede llegar a colocar hasta ocho, según el diseño que se haya establecido previamente.

D) Cargas (VA)

La información de las cargas es sustraída de la memoria de cálculo. Esta información refiere a la carga que se conectará a una de las barras. La ubicación en la tabla dependerá de la ubicación de la X en la columna de barrajes. La X representa donde se está conectando dicho circuito, por ejemplo, si la X se encuentra en el barraje B (Barrajes), se debe ubicar

dicha carga en la columna B (Cargas (VA)). El valor de la capacidad de carga depende si la carga es monofásica, bifásica o trifásica según los lineamientos siguientes:

- Si es trifásica debe estar utilizando un tablero de distribución con tres barrajes.
- Si es monofásica se utiliza la misma carga, ya que solo irá conectada a una de las barras.
- Si es bifásica debe colocarse la mitad de la carga en cada barra, y debe ir conectado de manera que se intercalen entre barraje A y barraje B, en otras palabras, no deben estar conectados ambas en la misma barra.
- En un componente con tres polos debe realizar el mismo proceso del bifásico, en este caso se colocará un tercio de la carga en cada barraje, y de igual forma, conectarse de manera de que cada circuito irá conectado a un barraje distinto, así buscando que estos últimos se mantengan balanceados.

E) Interruptor

Este ítem hace referencia a la protección que se le debe de colocar al circuito según la corriente nominal que demande el circuito, así como también permite colocar el espacio según el número de polos correspondiente. Los datos del interruptor también es colocado en el diagrama unifilar mostrando al lector del plano sus características.

F) Alambrado

En este punto se coloca el calibre de los conductores con su respectiva temperatura (ej. 60°, 75° o 90°), y la unidad según el calibre (puede ser AWG o kcmil). El calibre con su temperatura y unidad se puede hallar en la Tabla 310-16 de (ICONTEC 1998). según la corriente que demanda el circuito.

La selección del aislante va a depender de las condiciones en la que se encuentra la instalación, así como también a la temperatura. El aislante es un dato importante para la selección de la canalización.

G) Canalización

Para esta sección se debe de extraer del cuadro de carga, los datos del tipo de aislamiento de los conductores. Un dato crucial para la elección del diámetro adecuado de la canalización es el material y si se va a ubicar de forma encubierta o a la vista. Los materiales más comunes para la elección de la canalización son:

- Tuberías eléctricas metálicas - tipo EMT.
- Tuberías eléctricas no metálicas - tipo ENT.
- Tubo conduit metálico flexible.
- Tubo conduit metálico intermedio - tipo IMC.
- Tubo conduit no metálico flexible hermético a los líquidos (tipo FNMC-B)
- Tubo conduit no metálico flexible hermético de líquidos (tipo FNMC-A M)
- Tubo conduit metálico flexible hermético a los líquidos.
- Tubo conduit metálico rígido – tipo Rigid.
- Tubo conduit rígido de PVC Schedule 80.
- Tubo conduit rígido de PVC Schedule 40 y en tubos de PEAD (HDPE).

Diagrama unifilar

Los diagramas unifilares constituyen un elemento imprescindible dentro de los proyectos de diseño de los sistemas eléctricos, debe ser la más clara y precisa para cualquier persona con conocimientos en la materia y estos deben de permitir la interpretación de los distintos elementos de la instalación como son: los mecanismos de actuación, puntos de iluminación, elementos de seguridad, así como la manera de interconectar los distintos elementos. En los diagramas eléctricos se suministra, además, información sobre las dimensiones de los componentes principales del circuito eléctrico, así como la potencia o el flujo de corriente distribuido desde la fuente o acometida hasta los equipos de uso final.

Una forma de representar un circuito eléctrico completo por más complejo que sea su sistema es mediante un circuito equivalente monofásico, o por fase conocido como diagrama unifilar. (Mišák et al. 2015). Sin embargo, en ocasiones es necesario representar más información de los elementos conectados en las instalaciones eléctricas para lo cual se utiliza los llamados diagramas multifilares. La principal diferencia entre el diagrama unifilar y el diagrama multifilar es que el diagrama unifilar es una representación esquemática de un circuito, en el que todos los conductores de un tramo son representados con una sola línea o trazo y el multifilar es una representación más completa de todos los trazos.(Howell et al. 2016).

Los elementos que componen un diagrama o esquema unifilares son los siguientes:

A) Cuadros Eléctricos

Todos los componentes de un cuadro eléctrico se representan en el interior de un polígono (generalmente un rectángulo). Este polígono representa al cuadro eléctrico y se suele dibujar con una línea discontinua. Es conveniente que una etiqueta o marquilla identifique a qué cuadro hace referencia cada cuadro eléctrico por medio de un rótulo técnico en el margen inferior derecho con la información general del proyecto.

B) Circuito

Un circuito es una rama del esquema unifilar con dos extremos el cual lleva conectados elementos al mismo y es el encargado de distribuir la corriente eléctrica a las cargas.

C) Receptores

Las ramas inferiores del esquema unifilar alimentan a receptores eléctricos, tales como lámparas, tomas de corriente, motores, etc. Cada grupo de receptores iguales en un mismo circuito se representa mediante un único símbolo.

D) Sistemas de protecciones eléctricos

En algunas ramas del esquema unifilar es posible encontrar protección como: interruptores diferenciales, magnetos térmicos o relés.

Entre los beneficios del diagrama unifilar de una instalación eléctrica o un sistema de potencia se encuentran:

- Dar cumplimiento a las normas
- Dar cumplimiento a los requisitos solicitados en materia de seguridad.
- Conocer todos y cada uno de los componentes de la instalación eléctrica.
- Tomar decisiones acertadas para casos de ampliación, modificación y/o reducción de equipos en base a información técnica actualizada.
- Contar con uno de los requisitos más importantes para obtener una verificación eléctrica.

Por su parte los riesgos de no poseer un diagrama unifilar son los siguientes:

- Posible multa o suspensión de actividades por parte de las dependencias que lo solicitan
- Desconocimiento de las instalaciones eléctricas.
- Complicación en el restablecimiento o rastreo de fallas eléctricas.
- Desconocer las capacidades de los equipos (tableros, transformadores, etc.) para futuras ampliaciones.
- No lograr hacer trámites ante la compañía suministradora de energía para aumentos de carga o nuevos contratos.

Para la elaboración del diagrama unifilar se debe tener en cuenta los símbolos reconocidos en las normas que rigen cada país. En el caso de Colombia el RETIE establece la simbología representada en la **Figura 3** (Ministerio de Minas y Energía 2013a):

Figura 3.

Principales símbolos gráficos.

Caja de empalme	Corriente continua	Central hidráulica en servicio	Central térmica en servicio	Conductores de fase	Conductor neutro
Conductor de puesta a tierra	Conmutador unipolar	Contacto de corte	Contacto con disparo automático	Contacto sin disparo automático	Contacto operado manualmente
Descargador de sobretensiones	Detector automático de incendio	Dispositivo de protección contra sobretensiones - DPS	DPS tipo varistor	Doble aislamiento	Empalme
Equipotencialidad	Extintor para equipo eléctrico	Fusible	Generador	Interruptor, símbolo general	Interruptor automático en aire

Interruptor bipolar	Interruptor con luz piloto	Interruptor unipolar con tiempo de cierre	Interruptor diferencial	Interruptor unipolar de dos vías	Interruptor seccionador para AT
Interruptor termomagnético	Lámpara	Masa	Parada de emergencia	Seccionador	Subestación
Tablero general	Tablero de distribución	Tierra	Tierra de protección	Tierra aislada	Tomacorriente, símbolo general
Tomacorriente en el piso	Tomacorriente monofásico	Tomacorriente trifásico	Transformador símbolo general	Transformador de aislamiento	Transformador de seguridad

Aspecto No. 5. Confiabilidad en las instalaciones

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema pueda seguir funcionando a pesar de que un elemento salga de operación. Una instalación eléctrica confiable es aquella que reduce al mínimo la probabilidad de ocurrencia de accidentes que pongan en riesgo la vida y la salud de los usuarios, reduciendo la posibilidad de fallas en los equipos eléctricos y evitando la consiguiente inversión de dinero necesaria para su reparación o reposición (Moness and Moustafa 2016).

Con el propósito de identificar equipos críticos que pueden afectar la operación del sistema se suele recurrir a matrices de mantenimiento focalizadas en equipos y sistemas críticos presentes en la instalación, que afecten la continuidad en el suministro de energía en las edificaciones.

Los parámetros que inciden directamente en la confiabilidad de una instalación eléctrica son: un buen diseño, que el trabajo se ejecute por mano de obra calificada y certificada, el

uso y materiales certificados. De la misma manera, la actividades de construcción, ampliación o remodelación debe ser dirigida, supervisada y ejecutada directamente por profesionales competentes en el área que deben garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes (Ministerio de Minas y Energía 2013a).

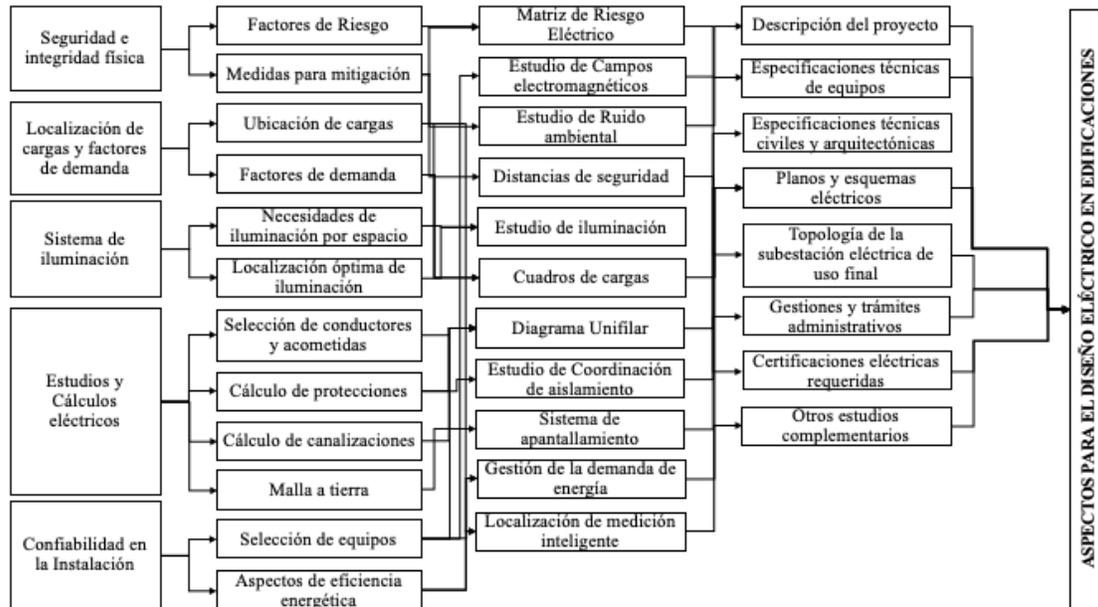
Es importante tener en cuenta que los problemas típicos que se pueden presentar en una instalación eléctrica con el paso del tiempo pueden ser: el deterioro y envejecimiento natural de los elementos que la constituyen y el incremento de la carga en la instalación (Georgiou et al. 2016).

La **Figura 4** presenta un diagrama integrado con los aspectos y estudios para considerar en el diseño de una instalación eléctrica considerando aspectos de eficiencia energética.

Figura 4.

Listado de estudios, aspectos y necesidades para el diseño de una instalación eléctrica.

Fuente: elaboración propia.



5. PROCEDIMIENTO

Enfoque de investigación

La investigación tiene un enfoque cualitativo, buscando la descripción del procedimiento para evaluar el sistema eléctrico de un edificio educativo. El enfoque es cuantitativo dado que, por medio del caso de estudio se evaluarán las especificaciones del diseño considerando los resultados de los diferentes estudios y aspectos técnicos durante la investigación.

Método de investigación

El método de investigación seleccionado para alcanzar los objetivos del proyecto de investigación está basado en el estudio de caso considerando una edificación educativa en donde los estudios considerados son integrados para demostrar el desarrollo de los procedimientos.

Diseño de investigación

El diseño de investigación considera el método científico aplicando la investigación cuasi experimental, haciendo uso de herramientas de simulación de proyectos cuyos resultados permiten soportar los procedimientos para la evaluación del diseño de un edificio educativo.

Fuentes de información

Las fuentes primarias de información utilizadas fueron: normas técnicas (nacionales e internacionales), también se consideraron artículos indexados en la base de datos

especializada SCOPUS, y documentos de trabajos de grados. Se tomó como referencia la información de memorias de cálculo consideradas en el proyecto.

Etapas del proyecto

La presente investigación está centrada en el desarrollo de un procedimiento para el diseño de sistemas eléctricos eficientes en edificaciones que permitan seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía. La investigación tiene fundamentación en la investigación aplicada, buscando generar las herramientas y procedimientos que sirvan de referente para la inclusión de técnicas y procedimientos en el uso final de la energía. La investigación se proyecta en tres etapas:

- La **etapa 1** busca analizar los criterios de diseños eléctricos para edificaciones que se ajusten a parámetros de seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía. Esta etapa inicia con el desarrollo de una revisión bibliográfica sobre reglamentos y normas nacionales e internacionales vigentes sobre los requisitos de sistemas eléctricos en edificaciones y también una revisión bibliográfica de los componentes y topologías de los sistemas eléctricos empleados en edificaciones. De manera seguida busca clasificar los criterios de seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía. Finalmente busca seleccionar los componentes y topologías de sistemas eléctricos en edificaciones que deben emplearse para el desarrollo del procedimiento.

- La **etapa 2** describirá los pasos del procedimiento que permiten el diseño de proyectos del sistema eléctrico en edificaciones. Esta etapa inicia establecer la secuencia de los pasos del procedimiento. De manera seguida explicar las herramientas que se emplean en el procedimiento. Posteriormente construir un diagrama de flujo con pasos lógicos. Finalmente explicar cada uno de los bloques del diagrama propuesto.

- La **etapa 3** busca evaluar el procedimiento propuesto en estudios de casos en diferentes tipos de edificaciones considerando varios escenarios de diseños de sistemas eléctricos, tecnologías y operación. Posteriormente se seleccionarán escenarios enmarcados en diferentes condiciones operativas de la instalación eléctrica. A continuación, se realizara el montaje de los circuitos a evaluar en un software especializado en análisis de sistemas eléctricos. Finalmente se compararán los resultados de la aplicación del método tomando como base los criterios de seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas y acceso a varios puntos de medición de la energía.

Procedimiento para la evaluación del sistema eléctrico de uso final

Para evaluar el sistema eléctrico se proponen los siguientes seis pasos:

5.1.1. Paso 1. Tipo de edificación:

Inicialmente definimos el tipo de edificación pertenece el proyecto a evaluar conforme a la **Tabla 9**

Tabla 9.

Tipo de edificación.

Edificación	Marque con una [X]
Edificio Residencial	
Edificio Comercial	
Edificio Educativo	
Edificio Industrial	
Otro: ¿Cuál?	

5.1.2. Paso 2. Identificación de la etapa del proyecto:

Una vez definido el tipo de edificación, se definirá la edificación a evaluar conforme a la

Tabla 10

Tabla 10.

Edificación a evaluar.

Evaluación	Marque con una [X]
Edificación en etapa de diseño	
Edificación existente	

5.1.3. Paso 3. Descripción de la edificación:

Se realizará un registro de las vistas en planta del proyecto, cuadros de carga, ya sea, preliminares de diseño o levantamiento en sitio para edificaciones existentes. También se realizará un registro documental acerca de todas las características, parámetros eléctricos y descripciones específicas del proyecto a evaluar, tales como:

1. Topología de la subestación eléctrica en baja tensión conforme a la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Topología de la subestación eléctrica.

Topología de la Subestación Eléctrica	Marque con una [X]
Interna + Transformador en aceite en Celda	
Interna + Transformador tipo seco en Celda	
Externa + Transformador en aceite tipo poste	
Externa + Transformador en aceite aire libre*	
Otro: ¿Cuál?	

2. Emplazamiento: Ubicación geográfica del proyecto, factor de temperatura tipo de área, grado de contaminación conforme a la **Tabla 12**.

Tabla 12.

Emplazamiento.

Departamento(s)
Municipio(s)
Localidad(es)
Zona
Área
Contaminación

3. Descripción del sistema eléctrico: Tensión nominal, potencia máxima, referencia del conductor principal o acometida, número de circuitos, entre otros. Tanto en media tensión como en baja tensión conforme a las **Tabla 13** y **Tabla 14**.

Tabla 13.*Descripción de la instalación en Media Tensión.*

DESCRIPCIÓN (Media Tensión)	CARACTERÍSTICA
Tensión nominal de diseño (kV)	
Potencia máxima de transporte (MVA)	
Conductor(es)	
Nº Circuitos	
Origen	
Longitud Red Aérea (km)	
Longitud Red Subterránea (km)	

Tabla 14.*Descripción de la instalación en Baja Tensión.*

DESCRIPCIÓN (Baja Tensión)	CARACTERÍSTICA
Tensión nominal de diseño (V)	
Conductores	
Configuración de la línea de B.T	
Número de clientes/Tipo	
Longitud Red Aérea (km)	
Longitud Red Subterránea (km)	

5.1.4. Paso 4. Simulación del circuito:

En esta sección se realizarán una serie de cálculos y análisis de la instalación eléctrica de uso final para los siguientes puntos: Regulación y capacidad, Cortocircuito y protecciones, Aislamiento y protección contra rayos (riesgo eléctrico) y cálculos mecánicos.

1. Regulación y capacidad: análisis y cuadros de cargas, análisis de factor de potencia y armónicos, cálculos de regulación para BT y MT, cálculo de transformador,

cálculo económico de los conductores, cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canaletas y electroductos) y cálculos de pérdidas de energía.

2. Cortocircuito y protecciones: análisis de cortocircuito y falla a tierra, cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes (IEC 60947-2 Anexo A.), verificación de los conductores y tiempo de disparo de los interruptores (IEC 60909, IEEE 242), cálculo de puesta a tierra y estudio de resistividad.
3. Aislamiento y protección contra rayos (Riesgo eléctrico): análisis de coordinación de aislamiento eléctrico, análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos, cálculos de campos electromagnéticos, clasificación de áreas, especificaciones de construcción complementarias y justificación técnica de desviación de la NTC-2050.
4. Cálculos mecánicos: datos de la red, cálculos mecánicos de conductores y cálculos mecánicos de postes auto soportados.

Finalmente se procederá hacer una simulación del sistema eléctrico en su totalidad tanto de forma individual de cada uno de sus componentes y unidades funcionales dentro del mismo como también el funcionamiento de todo el sistema trabajando en conjunto, para nuestro caso de estudio hicimos uso el software CYPELEC RETIE, programa para el cálculo de instalaciones eléctricas en baja tensión que tiene como objetivo dar cumplimiento al “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas” de Colombia, RETIE.

Este programa permite dibujar esquemas unifilares y configurar las características de los elementos que la componen y los resultados así como su conformidad son señalados a lo largo de los cálculos presentados por el software considerando: cumplimiento o incumplimiento de la normativa y consideraciones de diseño. El siguiente tipo de símbolos deben ser tenidos en cuenta por el diseñador:

Tabla 15.

Indicador de conformidad.

Simbología	Descripción
	El criterio de diseño es conforme a la reglamentación bajo la cual ha sido revisado el cálculo.
	El criterio seleccionado por el diseñador podría estar en los límites del criterio de diseño y debe ser revisado para garantizar el cumplimiento y/o la conformidad del diseño.
	El criterio de diseño es no conforme lo cual se debe al no cumplimiento de los parámetros o mala selección de elemento o consideraciones bajo la normatividad en revisión.

5.1.5. Paso 5. Análisis de los resultados:

En esta sección se enlistarán por grupo los resultados de los cálculos y análisis de la instalación eléctrica de uso final conforme al indicador de conformidad relacionado en la

Tabla 15.

5.1.6. Paso 6. Acceso a varios puntos de medición de la energía:

En esta sección se realizará una listado asociando todas las zonas de la instalación eléctrica de uso final de la edificación en estudio:

Tabla 16.

Identificación de acceso a varios puntos de medición de la energía.

Edificio en estudio	Marque con una [X]
Zona 1	
Zona 2	
Zona 3	
Zona 4	
Otro: ¿Cuál?	

Posterior a describir cada zona en la

Tabla 16, se marcarán con una “X” aquellas en la cual a través del informe de análisis del software CYPELEC dan como resultado una “advertencia” (⚠) o “no conformidad” (✘) conforme al indicador de conformidad de la **Tabla 15** en los subgrupos de: agrupación, carga distribuida o cuadro tipificado dentro el unifilar.

Figura 5.

Subgrupos en Software CYPELEC RETIE. Fuente: (CYPE Ingenieros S.A., 2019)



Por último, una vez identificadas las zonas se marcarán con un círculo rojo los puntos de acceso a medición de la energía en la instalación eléctrica de uso final de la edificación en estudio.

La anterior descripción del procedimiento se puede observar representado en la siguiente **Figura 6**:

Figura 6.

Procedimiento para evaluar el sistema eléctrico. Fuente: elaboración propia.



6. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO EDUCATIVO

Para la evaluación del sistema eléctrico de uso final, se seguirán los cinco pasos conforme al procedimiento.

6.1.1. Paso 1. Tipo de edificación:**Tabla 17.***Tipo de edificación.*

Edificación	Marque con una [X]
Edificio Residencial	
Edificio Comercial	
Edificio Educativo	X
Edificio Industrial	
Otro: ¿Cuál?	

6.1.2. Paso 2. Identificación de la etapa del proyecto:**Tabla 18.***Edificación a evaluar.*

Evaluación	Marque con una [X]
Edificación en etapa de diseño	
Edificación existente	X

6.1.3. Paso 3. Descripción de la edificación:

El edificio educativo de estudio es un Mega Colegio localizado en el municipio de Galapa, Atlántico. En la actualidad cuenta con 135 estudiantes que asisten desde el pre-escolar hasta el grado undécimo. Su planta de cargos cuenta con 11 docentes, 2 de ellos atienden desde el grado cero hasta el quinto año de la básica primaria y 9 educadores que sirven las áreas desde el grado sexto al undécimo. De igual modo se imparte la medida técnica en conservación de los recursos naturales en convenio con el SENA.

A continuación, se relacionan los planos arquitectónicos de la institución:

Figura 7.*Vista en planta piso 1.*

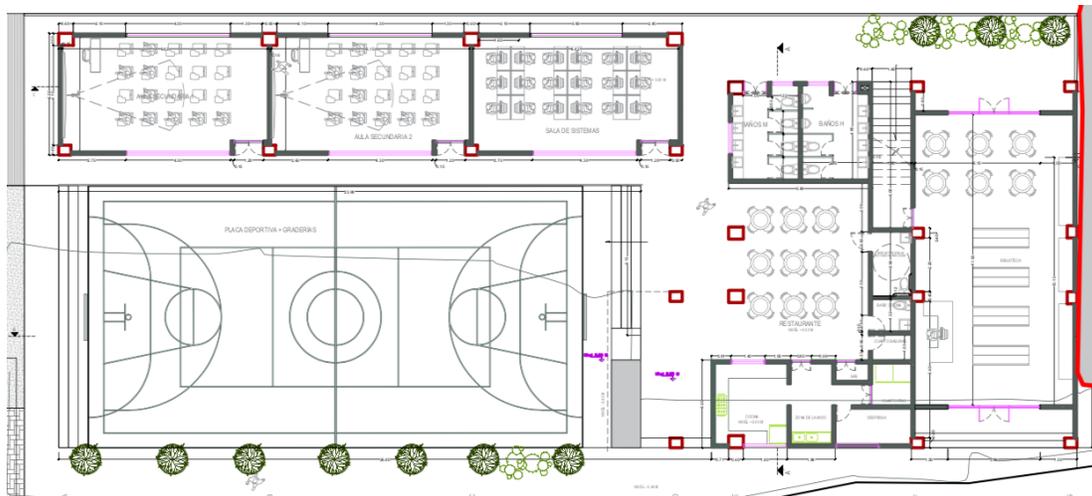


Figura 8.

Vista en planta piso 2.

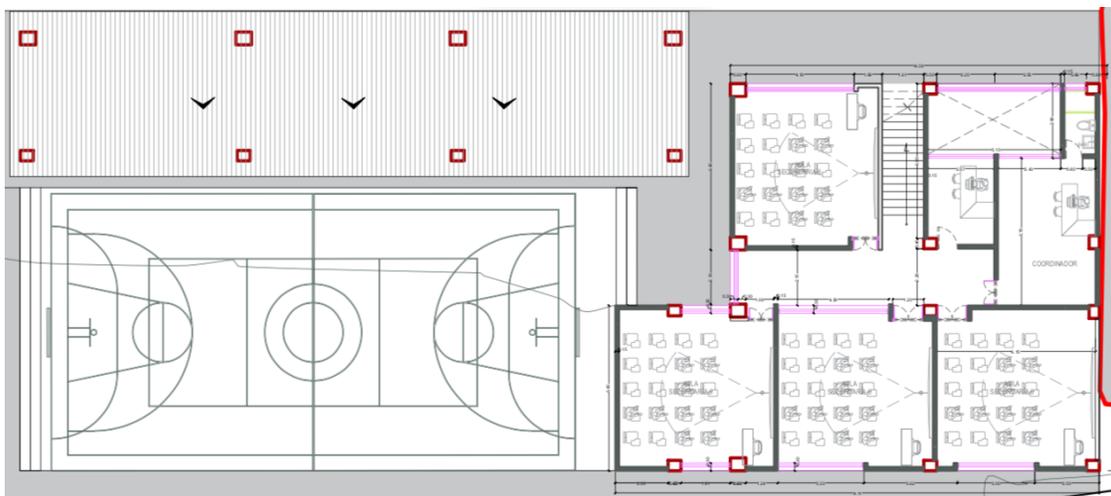


Figura 9.

Vista lateral corte A-A.

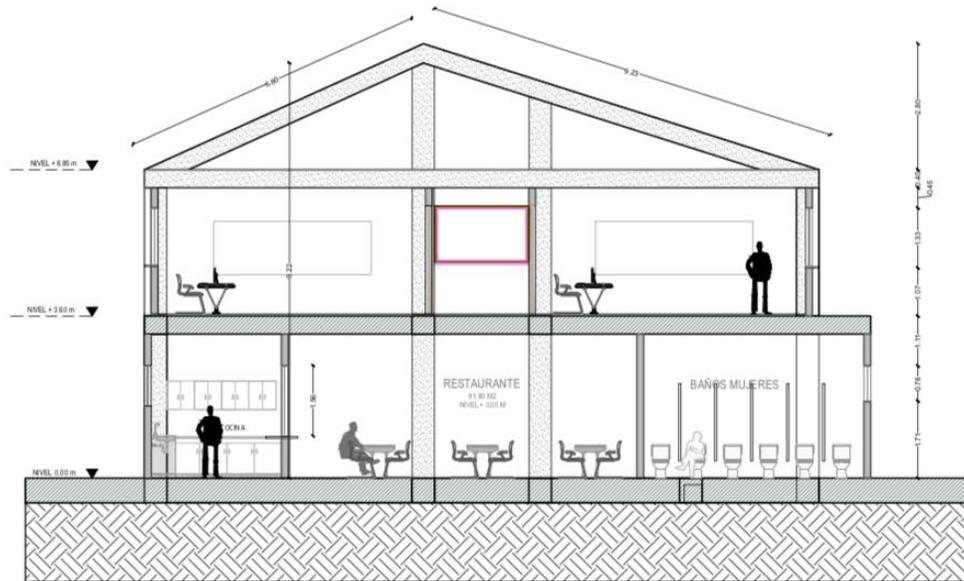


Figura 10.

Vista lateral cote B-B.

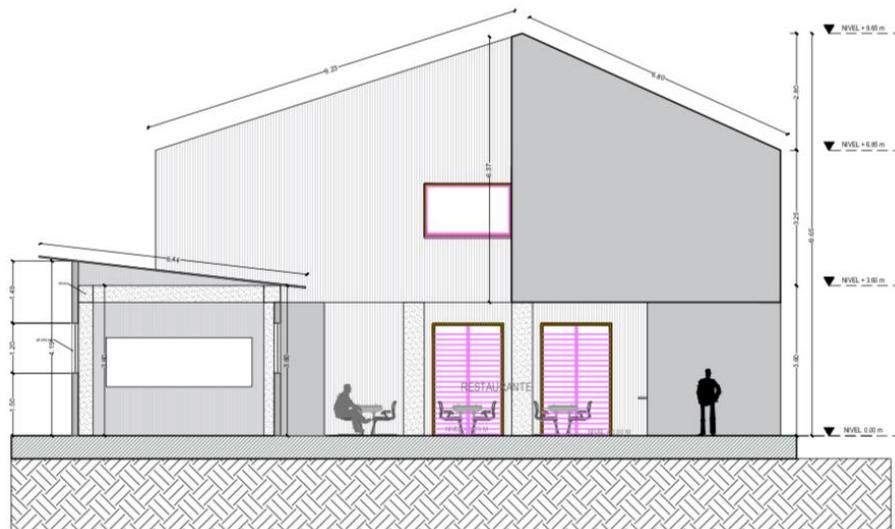
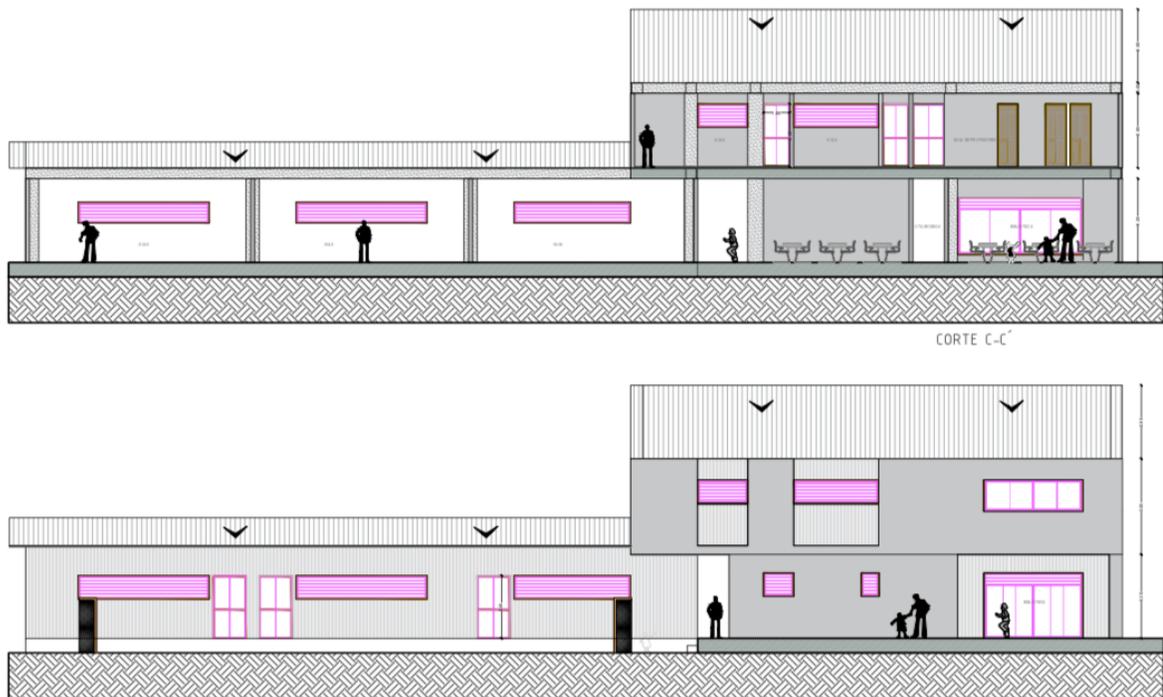


Figura 11.

Vista lateral derecha corte C-C.



El edificio educativo de estudio cuenta con un transformador ubicado en el exterior, bifásico en subestación tipo poste alimentado en su lado primario por una red de media tensión de 13,2kV y un valor en el secundario de 220V. Este transformador cuenta con una capacidad nominal de 75kVA. Este a su vez alimenta dos tableros de distribución que son: TGD y TD2 (Cada uno con 2 fases, 4 hilos y 24 circuitos) con tipo de montaje empotrado en muro.

El diseño eléctrico de esta institución fue planteado conforme al artículo 10.1 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETI) y teniendo en cuenta que la capacidad instalable de la instalación eléctrica será de >15kVA. A continuación, observamos los cuadros de carga de esta institución:

Tabla 19.

Cuadro de cargas TGD.

PROYECTO:		Colegio san francisco Jerico				BARRAJE:				2 X 125 AMPERIOS		 Soluciones Integrales S.A.S						
DISEÑADOR:		Moises David Velasquez Gutierrez				LOCALIZACIÓN:				escaleras zona de labor tecnica								
TABLERO:		TD (24 CTOS 20-3H)				TIPO DE MONTAJE:				Empotrado								
VOLTAJE DE SUMINISTRO (V):		220 V				ALIMENTACION:				Medidor								
Alambrado		DESCRIPCION	No. Salidas	Potencia (W)		Interruptor		Cto. No.	Barra		Cto. No.	Interruptor		Potencia (W)	No. Salidas	DESCRIPCION	Alambrado	
Cond	Ø			W	Polos	Amp	A		B	Polos		Amp	A				Cond	Ø
# 12	1/2"	TOMAS DE B/TECA Y ZONA DE LABOR TECNICA	9	1080	1	20	1	*		2	1	20	840	7	RESTAURANTE	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	COCINA	4	480	1	20	3		*	4	1	20	1360	5	DESPENSA - CUARTO FRIO	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	AIRE ACONDICIONADO B/TECA	1	14000	1	20	5	*		6	1	20	14000	1	AIRE ACONDICIONADO B/TECA	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	UPS	1	18000	1	20	7		*	8	1	20	600	5	TOMAS SALAS DE SISTEMAS	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	AIRE ACONDICIONADO SALA SISTEMAS	1	5280	1	20	9	*		10	1	20	720	6	TOMAS AULA DE CLAES 2	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	TOMAS AULA SECUNDARIA 1	6	720	1	20	11		*	12	2	20		1	TABLERO DE DISTRIBUCION SECUNDARIO	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	ILUMINACION AULA SECUNDARIA 1	10	534			13	*		14			534	10	ILUMINACION AULA SECUNDARIA 2	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	ILUMINACION SALA DE SISTEMAS	6	320,4			15		*	16			640,8	12	ILUMINACION BIBLIOTECA	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	ILUMINACION BAÑOS PUBLICOS	2	106,8			17	*		18			393,6	12	ILUMINACION COCINA, BAÑOS, DESPENSA Y OTROS	# 12	1/2"	
# 12	1/2"	ILUMINACION ZONA EXTERIOR Y ESCALERA	16	618,9			19		*	20						# 12	1/2"	
# 12	1/2"						21	*		22						# 12	1/2"	
# 12	1/2"						23		*	24						# 12	1/2"	
SUBTOTAL 1				41140,1			SUBTOTAL 2				18054							
TOTAL				59194,1														
CARGA TOTAL:				59.194,10	W													
FACTOR DE DEMANDA				0,90	Ø													
TOTAL CARGA DEMANDADA				53.274,69	W													
CORRIENTE TOTAL:				269,06	A													
CORRIENTE DE DISEÑO x 1,25:				336,33	A	CONDUCTOR ACOMETIDA:		2 x 4 (F) + 4 (N) THHW AL AWG										
						DUCTO ACOMETIDA:		TUBO PVC CONDUIT DIAMETRO 1"										

Tabla 20.

Cuadro de cargas TD2.

PROYECTO:		Colegio san francisco Jerico				BARRAJE:				2 X 125 AMPERIOS								
DISEÑADOR:		Moises David Velasquez Gutierrez				LOCALIZACIÓN:				escaleras zona de labor tecnica								
TABLERO:		TD (24 CTOS 2Ø-3H)				TIPO DE MONTAJE:				Empotrado								
VOLTAJE DE SUMINISTRO (V):		220 V				ALIMENTACION:				Medidor								
Alambrado		DESCRIPCION	No. Salidas	Potencia (W)		Interruptor		Cto. No.	Barra		Cto. No.	Interruptor		Potencia (W)	No. Salidas	DESCRIPCION	Alambrado	
Cond	Ø			W	Polos	Amp	A		B	Polos		Amp	A				Cond	Ø
# 12	½"	ILUMINACION COORDINADOR, OFICINA Y BAÑO	8	289,2			1	•		2			427,2	8	ILUMINACION AULA SECUNDARIA 3	# 12	½"	
# 12	½"	ILUMINACION AULA SECUNDARIA 4	8	427,2			3	•		4			427,2	8	ILUMINACION AULA SECUNDARIA 5	# 12	½"	
# 12	½"	ILUMINACION AULA SECUNDARIA 6	8	427,2			5	•		6			160,2	3	ILUMINACION PASILLO	# 12	½"	
# 12	½"						7	•		8						# 12	½"	
# 12	½"						9	•		10						# 12	½"	
# 12	½"						11	•		12						# 12	½"	
# 12	½"						13	•		14						# 12	½"	
# 12	½"						15	•		16						# 12	½"	
# 12	½"						17	•		18						# 12	½"	
# 12	½"						19	•		20						# 12	½"	
# 12	½"						21	•		22						# 12	½"	
# 12	½"						23	•		24						# 12	½"	
SUBTOTAL 1				1143,6						SUBTOTAL 2		1014,6						
TOTAL				2158,2														
CARGA TOTAL:			2.158,20	W														
FACTOR DE DEMANDA			0,90	Ø														
TOTAL CARGA DEMANDADA			1.942,38	W														
CORRIENTE TOTAL:			9,81	A														
CORRIENTE DE DISEÑO x 1,25:			12,26	A														
										CONDUCTOR ACOMETIDA:		2 x 4 (F) + 4 (N) THHW AL AWG						
										DUCTO ACOMETIDA:		TUBO PVC CONDUIT DIAMETRO 1"						

A continuación, se relaciona el registro documental acerca de las características, parámetros eléctricos y descripciones específicas del proyecto a evaluar, de acuerdo con lo descrito en la metodología: topología, emplazamiento, instalación de media tensión y baja tensión.

Tabla 21.

Topología de la subestación eléctrica.

Topología de la Subestación Eléctrica	Marque con una [X]
Interna + Transformador en aceite en Celda	
Interna + Transformador tipo seco en Celda	
Externa + Transformador en aceite tipo poste	X
Externa + Transformador en aceite aire libre*	
Otro: ¿Cuál?	

Tabla 22.

Emplazamiento.

Departamento(s):	Atlántico
Municipio(s):	Galapa
Localidad(es):	N.A.
Zona:	Rural
Área:	18.347 m ²
Contaminación:	Nivel 2

Descripción del sistema eléctrico: Tensión nominal, potencia máxima, referencia del conductor principal o acometida, número de circuitos, entre otros. Tanto en media tensión como en baja tensión.

Tabla 23.*Descripción de la instalación en Media Tensión.*

DESCRIPCIÓN (Media Tensión)	CARACTERÍSTICA
Tensión nominal de diseño (kV)	13,2
Potencia máxima de transporte (kVA)	75
Conductor(es)	(3F) 1/0 ACSR
Nº Circuitos	48
Origen	TGD y TD2
Longitud Red Aérea (km)	3,5 km
Longitud Red Subterránea (km)	No hay

Tabla 24.*Descripción de la instalación en Baja Tensión.*

DESCRIPCIÓN (Baja Tensión)	CARACTERÍSTICA
Tensión nominal de diseño (V)	220
Conductores	4
Configuración de la línea de B.T	2F + 1N + T
Número de clientes/Tipo	1
Longitud Red Aérea (km)	No hay
Longitud Red Subterránea (km)	0,34 km

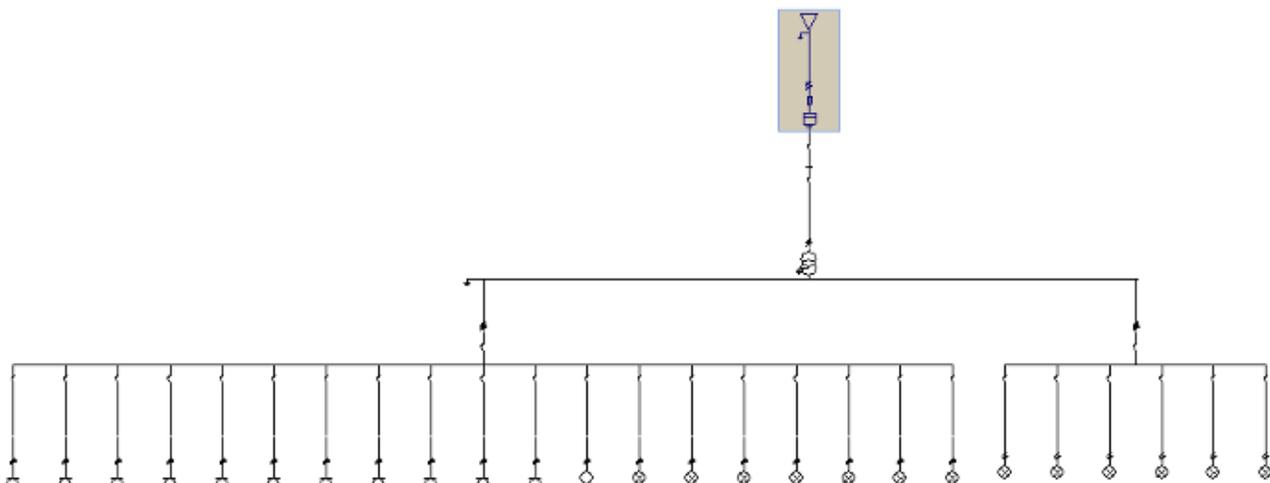
6.1.4. Paso 4. Simulación del circuito:

Se realizó el montaje del caso de estudio en el software CYPELECT RETIE, el montaje inicia con el ingreso y orden de datos de manera jerárquica de la instalación eléctrica desde los parámetros eléctricos de la red de media tensión, transformadores, acometida principal y circuitos ramales. Los datos se ingresan conforme a las especificaciones técnicas que solicita el software, identificando cada elemento del sistema y a su vez con los subsistemas que se requieren para consolidar la instalación en

su totalidad, es decir, red de alimentación, equipos de transformación, conductores y barrajes principales, tableros y protecciones, acometidas a circuitos relacionados, entre otros. A continuación, se presenta la **Figura 12** como ejemplo de la información característica del diseño. En el proyecto se realiza un solo diseño y el software facilita la organización del diagrama unifilar conforme las indicaciones del diseñador.

Figura 12.

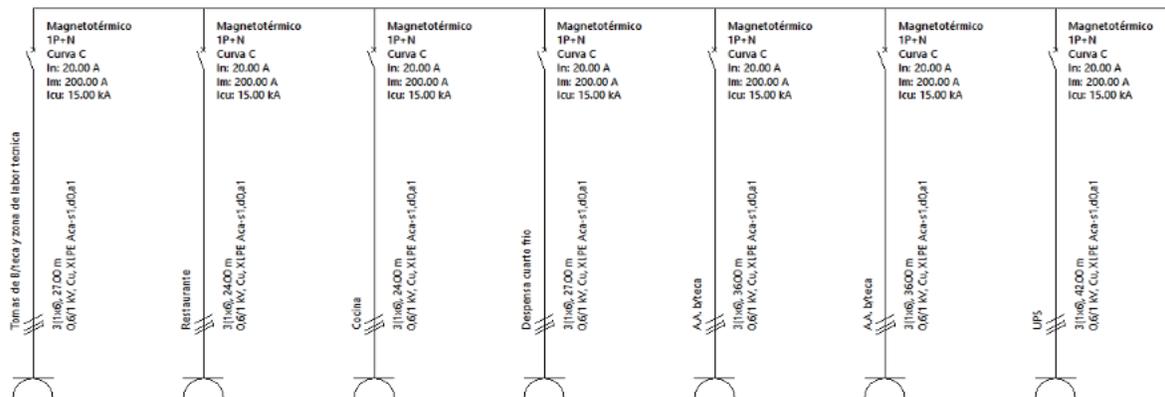
Diseño inicial del Tablero TGD. Fuente: (CYPE Ingenieros S.A., 2019)



Una vez que el diseño preliminar está completo, se procede al cálculo, donde el software CYPELECT RETIE a partir de análisis de capacidades nominales y flujo de carga, compara con el reglamento de referencia a fin de verificar conformidades, mostrando en secciones del diagrama los elementos que se muestran conformes y los no conformes, para que el diseñador haga los ajustes para corrección y verificación de la conformidad. A continuación, en la **Figura 13** se ilustra el ajuste y selección de conductores, protecciones de un grupo de circuitos del caso de estudio, realizado por el diseñador para dar conformidad a la reglamentación vigente.

Figura 13.

Resultado final del cálculo en CYPELECT RETIE. Fuente: (CYPE Ingenieros S.A., 2019)



Para este caso de estudio los resultados arrojados por el software CYPELECT RETIE, son presentados en el **Error! Reference source not found.**, estos resultados detallan todas las características iniciales del diseño, presentando cálculos, procedimientos y resultados del flujo de carga conforme lo señala el software, haciendo uso de las ecuaciones para el cálculo de los elementos y sistemas requeridos. Posterior a esto el software realiza indicaciones de conformidad y no conformidad teniendo en cuenta el reglamento vigente. Las condiciones de verificación son las siguientes:

1. Conductor neutro (IEC 60364-5-52, apartado 524.3)

En circuitos polifásicos en los que la sección de los conductores de línea sea mayor que 16 mm² en cobre o 25 mm² en aluminio, la sección del conductor neutro puede ser inferior a la sección de los conductores de línea si se cumplen las siguientes condiciones simultáneamente (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

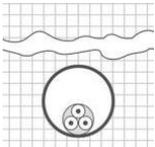
- La carga transportada por el circuito en servicio normal está equilibrada entre las fases y las corrientes de tercer armónico y de múltiplos impares de tercer armónico no excede del 15% de la corriente del conductor de línea.
- El conductor neutro está protegido contra sobretensiones.
- La sección del conductor neutro no es inferior a 16 mm² en cobre o a 25 mm² en aluminio.

Conductor de fase: 35.00 mm²

Conductor neutro: 35.00 mm² ✓

2. Intensidad admisible (IEC 60364-5-52, Anexo B)

TABLA 25. Método de instalación de referencia

Método de instalación de referencia (tabla B.52.1)	
	D1: Cable unipolar o multipolar en conductos en el suelo Aislamiento termoestable.

La tabla B.52.1 detalla los métodos de instalación de referencia para los cuales se refieren las corrientes admisibles tabuladas en las tablas B.52.2 a B.52.13. (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

Tabla de intensidades admisibles: B.52.5, columna 7 (1.50 a 300.00 mm²)

Sección nominal de los conductores: 35.00 mm², Cobre

Intensidad admisible: 115.00 A

- Factor de corrección por temperatura

Cuando la temperatura ambiente en la ubicación prevista de los conductores aislados o cables difiera de la temperatura ambiente de referencia, el factor de corrección apropiado dado en las tablas B.52.14 y B.52.15 debe aplicarse a los valores de los corrientes admisibles recogidos en las tablas B52.2 a B52.13.

Temperatura ambiente del emplazamiento: 25.00 °C

Temperatura ambiente de referencia: 20.00 °C

Rango admisible: 10.00 a 80.00 °C

Factor de corrección por temperatura (*tabla B.52.15*): 0.96

- Factor de corrección por resistividad térmica del terreno

En lugares donde la resistividad térmica efectiva del terreno es superior a 2,5 K·m/W, se debería aplicar una apropiada reducción en las corrientes admisibles o reemplazar el terreno inmediatamente alrededor de los cables por un material más adecuado.

Normalmente se pueden reconocer dichos casos por las condiciones muy secas del suelo.

Los factores de corrección para las resistividades térmicas del terreno diferentes a 2,5 km/W se especifican en la tabla B.52.16. (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

Resistividad térmica del emplazamiento: 2.50 K·m/W

Factor de corrección por resistividad (*tabla B.52.16*): 1.00

- Factor de corrección por profundidad

Tabla A.7: Factores de corrección para diferentes profundidades de instalación.

Profundidad de instalación: 0.70 m

Factor de corrección por profundidad: 1.00

- Grupos que contienen más de un circuito

Las corrientes admisibles dadas en las tablas B.52.2 a B.52.7 se refieren a circuitos individuales. Cuando en el mismo grupo se instalan más conductores aislados o cables, deben aplicarse los factores de reducción por agrupamiento especificados en las tablas B.52.17 a B.52.19. (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

Tabla B.52.19 - Factores de reducción para más de un circuito, cables en conductos enterrados en el suelo (método de instalación D1 de las tablas B.52.2 a B.52.5).

Cables unipolares en conductos individuales

Número de circuitos unipolares de dos o de tres cables: 1

Factor de agrupamiento: 1.00

$$I = 83.37\text{ A} < 115.00\text{ A} \times 0.96 \times 1.00 \times 1.00 \times 1.00 = 110.40\text{ A} \quad \checkmark$$

3. Caída de tensión, alimentadores y circuitos ramales (RETIE, apartado 27.3)

La caída de tensión admisible será:

Circuito interior 5.00 %

Valor de la caída de tensión:

Red de entrada 0.19 % < 5.00 % ✓

La caída de tensión puede determinarse utilizando la siguiente fórmula (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$u = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B \quad \text{Ec. 1}$$

Con:

- u Caída de tensión (0.521 V)
- b Coeficiente igual a 1 para circuitos trifásicos, e igual a 2 para circuitos monofásicos (1)
- r₁ Resistividad de los conductores en el servicio normal, tomada igual a la resistividad a la temperatura en servicio normal, es decir, 1.25 veces la resistividad a 20°C (0.022 Wmm²/m)
- L Longitud de las canalizaciones (10.00 m)
- S Sección de los conductores (35.00 mm²)
- cos j Factor de potencia (0.90)
- l Reactancia por unidad de longitud de los conductores (0.106 mW/m)
- I_B Corriente de diseño (83.37 A)

Reactancia por unidad de longitud de los conductores

$$\lambda = f\mu_0 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

$$d = \sqrt[6]{2 \cdot D_a} \quad \text{Ec. 3}$$

Con:

f Frecuencia de la red (*50 Hz*)

r Radio de un conductor simple (*3.34 mm*)

μ_0 Constante magnética (*$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$*)

d Distancia media geométrica entre conductores (*14.14 mm*)

D_a Diámetro externo del cable unipolar (*12.60 mm*)

La caída de tensión relativa (en tanto por ciento) es igual a:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0} \quad \text{Ec. 4}$$

Con:

Δu Caída de tensión relativa (*0.19 %*)

U_0 Tensión entre fase y neutro (*480.00 V*)

4. Coordinación entre conductores y dispositivos de protección contra sobrecargas (IEC 60364-4-43, apartado 433.1 y apartado 433.2)

Las características de funcionamiento de un dispositivo que protege un cable contra sobrecargas deben satisfacer las siguientes dos condiciones (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$I_B < I_n < I_Z$$

✘

$$I_2 < 1,45 \times I_Z = 160.08 A$$

✘

Con:

I_B Intensidad de diseño del circuito (83.37 A)

* I_n Intensidad asignada del dispositivo de protección (*Fusible*, 250.00 A)

I_Z

Para dispositivos de protección ajustables, la intensidad asignada I_n es la corriente seleccionada

I_Z Intensidad permanente admisible del cable (110.40 A)

I_2 Intensidad efectiva asegurada en funcionamiento en el tiempo convencional del dispositivo de protección (400.00 A)

Análisis de resultados Acometida de baja tensión

Impedancia del cable

- Impedancia de secuencia directa:

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito máximas, la resistencia R_L de las líneas se calcula a la temperatura de 20°C, según la norma IEC 60909-0, apartado 2.4. La resistencia se puede determinar a partir de la sección nominal y de la resistividad, mediante la expresión (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$R_{L20^\circ} = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad \text{Ec. 5}$$

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito mínimas, la resistencia R_L de las líneas se calcula a la temperatura del conductor al final de la duración del cortocircuito, según la norma IEC 60909-0, apartado 2.5, mediante la siguiente expresión:

$$R_L = [1 + \alpha (\theta_e - 20^\circ\text{C})] \cdot R_{L20} \quad \text{Ec. 6}$$

Con:

- R_L Resistencia a la temperatura θ_e (9.78 mW)
- R_{L20° Resistencia a una temperatura de 20°C (5.14 mW)
- L Longitud de la línea (10.00 m)
- S Sección transversal nominal del conductor de fase (35.00 mm²)
- ρ Resistividad del conductor a 20°C (0.018 W mm²/m, para cables de Cobre)
- θ_e Temperatura del conductor en °C al final de la duración del cortocircuito, según la tabla 43A de la norma IEC 60364-4-43 (250 °C)
- α Factor dependiente del material del conductor (0.00392 °C⁻¹, para cables de Cobre)

La reactancia del cable se calcula, según el Informe Técnico CEI 60909-2, aplicando la siguiente fórmula:

$$X_L = f\mu_0 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right) \cdot L \quad \text{Ec. 7}$$

$$d = \sqrt[6]{2 \cdot D_a} \quad \text{Ec. 8}$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad \text{Ec. 9}$$

Con:

X_L Reactancia (*1.06 mW*)

f Frecuencia de la red (*50 Hz*)

r Radio de un conductor simple (*3.34 mm*)

m_0 Constante magnética de valor (*$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$*)

d Distancia media geométrica entre conductores (*14.14 mm*)

D_a Diámetro externo del cable unipolar (*12.60 mm*)

Con lo que:

$$Z_{L20^\circ} = 5.14 + j1.06 \text{ mW}$$

$$Z_{L250^\circ} = 9.78 + j1.06 \text{ mW}$$

- Impedancia de secuencia inversa:

Según la norma IEC 60909-0, apartado 3.1, las impedancias de cortocircuito de secuencia directa e inversa son iguales: $Z_{(1)} = Z_{(2)}$.

- Impedancia de secuencia homopolar:

La tabla 7 del informe técnico CEI 60909-2 proporciona las fórmulas necesarias para el cálculo de las impedancias del sistema homopolar para los diferentes tipos de cable. La impedancia de secuencia directa calculada anteriormente para 20°C y por unidad de longitud es (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$Z'_{(1)} = 0.51 + j0.11 \text{ mW/m}$$

La profundidad equivalente de penetración en la tierra, según la norma IEC 60909-3, apartado 6.1.5, es:

$$\delta = \frac{1.85}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_0}{\rho}}} \quad \text{Ec. 10}$$

Con:

- d Profundidad equivalente de penetración en la tierra (*931.09 m*)
- p Resistividad del terreno (*100 W · m*)
- w Frecuencia angular de valor $w = 2\pi f$

Siendo la longitud del cable menor a la profundidad equivalente de penetración en la tierra ($l_c < d$), y atendiendo a lo indicado en el apartado 2.5 del informe técnico CEI 60909-2, la impedancia homopolar $Z_{(0)}$ se calcula como (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$Z_{(0)} = Z'_0 \cdot I_c = R'_{(0)} \cdot I_c + jX'_{(0)} \cdot I_c \quad \text{Ec. 11}$$

$$Z'_{(0)} = R'_l + 3 \cdot \left(0.75 \cdot \omega \frac{\mu_0}{8} \cdot \frac{d_E}{\delta} \right) + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + 3 \cdot \ln \frac{d_E}{\sqrt[3]{r_L \cdot d^2}} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

$$d_E = \frac{2}{e} \cdot I_c \cdot e^{\frac{-I_c}{e \cdot \delta}} \quad \text{Ec. 13}$$

Con:

r_L Radio de un conductor simple (*3.34 mm*)

d Distancia media geométrica entre conductores (*14.14 mm*)

l_c Longitud de la línea (*10.00 m*)

Con lo que:

$$d_E = 7.33 \text{ m}$$

$$Z'_{(0)} = 0.52 + j1.28 \text{ mW/m}$$

y:

$$Z_{(0)} = 5.15 + j12.85 \text{ mW}$$

Considerando el retorno de corriente por el conductor neutro y la tierra:

$$Z'_{(0)NE} = Z'_0 - 3 \cdot \frac{\left(0.75 \cdot \omega \frac{\mu_0}{8} \cdot \frac{d_E}{\delta} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \frac{d_E}{d_{LN}}\right)^2}{R'_N + 0.75 \cdot \omega \frac{\mu_0}{8} \cdot \frac{d_E}{\delta} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d_E}{r_N}\right)}$$

Con:

r_N Radio del conductor del neutro (*3.34 mm*)

d_{LN} Distancia geométrica entre el conductor de neutro y el conductor de fase (*14.14 mm*)

Con lo que:

$$Z'_{(0)NE20^\circ} = 0.98 + j0.83 \text{ mW/m}$$

y:

$$Z_{(0)NE20^\circ} = 9.78 + j8.35 \text{ mW}$$

El mismo cálculo se repite considerando la temperatura que alcanza el conductor al final del cortocircuito, calculada en función de su duración. La impedancia de secuencia directa calculada anteriormente para 250° y por unidad de longitud es (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$Z'_{(1)250^\circ} = 0.98 + j0.11 \text{ mW/m}$$

Con lo que:

$$Z'_{(0)NE250^\circ} = 1.35 + j1.09 \text{ mW/m}$$

y:

$$Z_{(0)NE250^\circ} = 13.54 + j10.93 \text{ mW}$$

Cálculo de las corrientes de cortocircuito

El método utilizado para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, según el apartado 2.3 de la norma UNE-EN 60909-0, está basado en la introducción de una fuente de tensión equivalente en el punto de cortocircuito. La fuente de tensión equivalente es la única tensión activa del sistema. Todas las redes de alimentación y máquinas síncronas y asíncronas son reemplazadas por sus impedancias internas. (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

- Corrientes máximas de cortocircuito

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, el sistema puede ser convertido por reducción de redes en una impedancia de cortocircuito equivalente Z_k en el punto de defecto.

En los siguientes apartados se calculan los valores de corriente máxima de cortocircuito en los puntos de la instalación en los que se ubican las protecciones eléctricas.

- **Cortocircuito en cabecera de línea**

Cortocircuito trifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.1)

La corriente de cortocircuito simétrica inicial $I''_k = I''_{k3}$ teniendo en cuenta la fuente de tensión equivalente en el punto de defecto, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad \text{Ec. 14}$$

$$I''_k = 10.70\text{kA}$$

Con:

c Factor c de la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (1.05)

U_n Tensión nominal fase-fase (480.00V)

Z_k Impedancia de cortocircuito equivalente (27.20 mW)

La impedancia equivalente es:

$$Z_k = Z_Q + Z_L = 12.42 + j24.20 \text{ mW}$$

El valor i_{pk3} se expresa como:

$$i_p = k\sqrt{2} \cdot I_k'' \quad \text{Ec. 15}$$

$$k = 1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{R}{X}} \quad \text{Ec. 16}$$

Con:

i_{pk3} Valor de cresta de la corriente de cortocircuito (*18.61 kA*)

k Constante (*1.23*)

R Resistencia equivalente de cortocircuito en el punto de defecto considerado
(*12.42 mW*)

X Reactancia equivalente de cortocircuito en el punto de defecto considerado
(*24.20 mW*)

- Cortocircuito bifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.2)

En el caso de un cortocircuito bifásico, la corriente de cortocircuito simétrica inicial es:

$$I_{k2}'' = \frac{cU_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{cU_n}{2 \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}'' \quad \text{Ec. 17}$$

$$I_{k2}'' = 9.27 \text{ kA}$$

Durante la fase inicial del cortocircuito, la impedancia de secuencia inversa es aproximadamente igual a la impedancia de secuencia directa, independientemente de si el cortocircuito se produce en un punto próximo o alejado de un alternador. Por lo tanto, en la ecuación anterior es posible introducir $Z_{(2)} = Z_{(1)}$. El valor i_{pk2} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16 (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$i_{pk2} = 16.12kA$$

- Cortocircuito bifásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.3)

La ecuación que conduce al cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial en el caso de un cortocircuito bifásico a tierra es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{kE2E} = 5.05kA$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (1.05)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito bifásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q = 12.42 + j24.20 \text{ m}\Omega$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito bifásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} = 40.09 + j60.85 \text{ m}\Omega$$

El valor i_{pkE2E} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

$$i_{pkE2E} = 8.79kA$$

- Cortocircuito monofásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.4)

La corriente inicial del cortocircuito monofásico a tierra I''_{k1} , para un cortocircuito alejado de un alternador con $Z_{(2)} = Z_{(1)}$, se calcula mediante la expresión, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{k1} = 6.87\text{kA}$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (1.05)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito monofásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q = 12.42 + j24.20 \text{ m}\Omega$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito monofásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} = 40.09 + j60.85 \text{ m}\Omega$$

El valor i_{pk1} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

$$i_{pk1} = 11.95\text{kA}$$

▪ Cortocircuito en pie de línea

Cortocircuito trifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.1)

La corriente de cortocircuito simétrica inicial $I''_k = I''_{k3}$ teniendo en cuenta la fuente de tensión equivalente en el punto de defecto, se calcula mediante la siguiente ecuación, utilizando la ecuación Ec. 17 (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$I''_k = 9.46 \text{ kA}$$

Con:

c Factor c de la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (1.05)

U_n Tensión nominal fase-fase (480.00V)

Z_k Impedancia de cortocircuito equivalente (30.76 mW)

La impedancia equivalente es:

$$Z_k = Z_Q + Z_L = 17.56 + j25.26 \text{ mW}$$

El valor i_{pk3} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

Con:

i_{pk3} Valor de cresta de la corriente de cortocircuito (15.27 kA)

k Constante (1.14)

R Resistencia equivalente de cortocircuito en el punto de defecto considerado
(17.56 mW)

X Reactancia equivalente de cortocircuito en el punto de defecto considerado
(25.26 mW)

- Cortocircuito bifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.2)

En el caso de un cortocircuito bifásico, la corriente de cortocircuito simétrica inicial es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{k2} = 8.19\text{kA}$$

Durante la fase inicial del cortocircuito, la impedancia de secuencia inversa es aproximadamente igual a la impedancia de secuencia directa, independientemente de si el cortocircuito se produce en un punto próximo o alejado de un alternador. Por lo tanto, en la ecuación anterior es posible introducir $Z_{(2)} = Z_{(1)}$.

El valor i_{pk2} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

$$i_{pk2} = 13.23\text{kA}$$

- Cortocircuito bifásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.3)

La ecuación que conduce al cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial en el caso de un cortocircuito bifásico a tierra es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{kE2E} = 4.34\text{kA}$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (1.05)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito bifásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q + Z_L = 17.56 + j25.26 \text{ m}\Omega$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito bifásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} + Z_{(0)L} = 49.87 + j69.19 \text{ m}\Omega$$

El valor i_{pkE2E} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

$$i_{pkE2E} = 7.00 \text{ kA}$$

- Cortocircuito monofásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.4)

La corriente inicial del cortocircuito monofásico a tierra I''_{k1} , para un cortocircuito alejado de un alternador con $Z_{(2)} = Z_{(1)}$, se calcula mediante la expresión, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{k1} = 5.95 \text{ kA}$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (1.05)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito monofásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q + Z_L = 17.56 + j25.26 \text{ m}\Omega$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito monofásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} + Z_{(0)L} = 49.87 + j69.19 \text{ m}\Omega$$

El valor i_{pk1} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

$$i_{pk1} = 9.60\text{kA}$$

- Corrientes mínimas de cortocircuito

De la misma manera que para las corrientes máximas de cortocircuito, en los siguientes apartados se calculan los valores de corriente mínima de cortocircuito en los puntos de la instalación en los que se ubican las protecciones eléctricas. (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

- **Cortocircuito en cabecera de línea**

- Cortocircuito trifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.1)

La corriente de cortocircuito simétrica inicial $I''_k = I''_{k3}$ teniendo en cuenta la fuente de tensión equivalente en el punto de defecto, se calcula mediante la siguiente ecuación, utilizando la ecuación Ec. 17 (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$I''_k = 8.89\text{kA}$$

Con:

- c Factor c de la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (0.95)
- U_n Tensión nominal fase-fase (480.00V)
- Z_k Impedancia de cortocircuito equivalente (29.60 mW)

- Cortocircuito bifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.2)

En el caso de un cortocircuito bifásico, la corriente de cortocircuito simétrica inicial es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{k2} = 7.70\text{kA}$$

Durante la fase inicial del cortocircuito, la impedancia de secuencia inversa es aproximadamente igual a la impedancia de secuencia directa, independientemente de si el cortocircuito se produce en un punto próximo o alejado de un alternador. Por lo tanto, en la ecuación anterior es posible introducir $Z_{(2)} = Z_{(1)}$.

- Cortocircuito bifásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.3)

La ecuación que conduce al cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial en el caso de un cortocircuito bifásico a tierra es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{kE2E} = 4.30 \text{ kA}$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (0.95)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito bifásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q = 17.05 + j24.20 \text{ m}\Omega$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito bifásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} = 43.85 + j63.43 \text{ m}\Omega$$

- Cortocircuito monofásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.4)

La corriente inicial del cortocircuito monofásico a tierra I''_{k1} , para un cortocircuito alejado de un alternador con $Z_{(2)} = Z_{(1)}$, se calcula mediante la expresión, utilizando la ecuación Ec.

17:

$$I''_{k1} = 5.79 \text{ kA}$$

Con:

c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (0.95)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito monofásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q = 17.05 + j24.20 \text{ mW}$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito monofásico a tierra en cabecera de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} = 43.85 + j63.43 \text{ mW}$$

▪ Cortocircuito en pie de línea

Cortocircuito trifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.1)

La corriente de cortocircuito simétrica inicial $I''_k = I''_{k3}$ teniendo en cuenta la fuente de tensión equivalente en el punto de defecto, se calcula mediante la siguiente ecuación, utilizando la ecuación Ec. 17 (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$I''_k = 7.14 \text{ kA}$$

Con:

c Factor c de la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (0.95)

U_n Tensión nominal fase-fase (480.00V)

Z_k Impedancia de cortocircuito equivalente (36.85 mW)

La impedancia equivalente es:

$$Z_k = Z_Q + Z_L = 26.83 + j25.26 \text{ mW}$$

El valor i_{pk3} se expresa como lo señalan las ecuaciones Ec. 15 y Ec. 16:

Con:

- i_{pk3} Valor de cresta de la corriente de cortocircuito (*10.71 kA*)
- k Constante (*1.06*)
- R Resistencia equivalente de cortocircuito en el punto de defecto considerado (*26.83 mW*)
- X Reactancia equivalente de cortocircuito en el punto de defecto considerado (*25.26 mW*)

- Cortocircuito bifásico (une-en 60909-0, apartado 4.2.2)

En el caso de un cortocircuito bifásico, la corriente de cortocircuito simétrica inicial es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{k2} = 6.19\text{kA}$$

Durante la fase inicial del cortocircuito, la impedancia de secuencia inversa es aproximadamente igual a la impedancia de secuencia directa, independientemente de si el cortocircuito se produce en un punto próximo o alejado de un alternador. Por lo tanto, en la ecuación anterior es posible introducir $Z_{(2)} = Z_{(1)}$. (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

- Cortocircuito bifásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.3)

La ecuación que conduce al cálculo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial en el caso de un cortocircuito bifásico a tierra es, utilizando la ecuación Ec. 17:

$$I''_{kE2E} = 3.52\text{kA}$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (*0.95*)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito bifásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q + Z_L = 26.83 + j25.26 \text{ mW}$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito bifásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} + Z_{(0)L} = 57.38 + j74.35 \text{ mW}$$

- Cortocircuito monofásico a tierra (une-en 60909-0, apartado 4.2.4)

La corriente inicial del cortocircuito monofásico a tierra I''_{k1} , para un cortocircuito alejado de un alternador con $Z_{(2)} = Z_{(1)}$, se calcula mediante la expresión, utilizando la ecuación Ec. 17 (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$I''_{k1} = 4.73 \text{ kA}$$

Con:

- c Factor de tensión, según la tabla 1 de la norma UNE-EN 60909-0 (0.95)

La impedancia de secuencia directa, para un cortocircuito monofásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(1)} = Z_Q + Z_L = 26.83 + j25.26 \text{ mW}$$

La impedancia de secuencia homopolar, para un cortocircuito monofásico a tierra en pie de línea, es:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)Q} + Z_{(0)L} = 57.38 + j74.35 \text{ mW}$$

5. Dimensiones de tubos, canales protectores y bandejas

La sección eficaz mínima del tubo se calcula mediante la siguiente fórmula (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

Diámetro mínimo exigido: 56.35 mm

Diámetro exterior del tubo: 60.00 mm ✓

$$\phi_{Et} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S_{eft}}{\pi}} \quad \text{Ec. 18}$$

$$S_{eft} = f \cdot S_{efc} = f \cdot \sum (n_i \cdot S_i) \quad \text{Ec. 19}$$

Con:

- F_{Et} Diámetro mínimo exigido (56.35 mm)
- S_{eft} Sección eficaz del tubo (2493.80 mm²)
- f Coeficiente corrector por colocación (4.0)
- S_{efc} Sección ocupada por los conductores (623.45 mm²)
- n_i Número de conductores de sección S_i
- S_i Sección del conductor

6. Caída de tensión, alimentadores y circuitos ramales (RETIE, apartado 27.3)

La caída de tensión admisible será:

Circuito interior 5.00 %

Valor de la caída de tensión:

Acometida 0.19 % < 5.00 % ✓

La caída de tensión puede determinarse utilizando la siguiente fórmula (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$u = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B \quad \text{Ec. 20}$$

Con:

- U Caída de tensión (*0.521 V*)
- B Coeficiente igual a 1 para circuitos trifásicos, e igual a 2 para circuitos monofásicos (*1*)
- r₁ Resistividad de los conductores en el servicio normal, tomada igual a la resistividad a la temperatura en servicio normal, es decir, 1.25 veces la resistividad a 20°C (*0.022 Wmm²/m*)
- L Longitud de las canalizaciones (*10.00 m*)
- S Sección de los conductores (*35.00 mm²*)
- cos j Factor de potencia (*0.90*)
- L Reactancia por unidad de longitud de los conductores (*0.106 mW/m*)
- I_B Corriente de diseño (*83.37 A*)

Reactancia por unidad de longitud de los conductores

$$\lambda = f\mu_0 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right)$$

$$d = \sqrt[6]{2 \cdot D_a}$$

Con:

- f Frecuencia de la red (*50 Hz*)
- r Radio de un conductor simple (*3.34 mm*)
- m₀ Constante magnética (*4π · 10⁻⁷ H/m*)
- d Distancia media geométrica entre conductores (*14.14 mm*)
- D_a Diámetro externo del cable unipolar (*12.60 mm*)

La caída de tensión relativa (en tanto por ciento) es igual a:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0}$$

Con:

- Du Caída de tensión relativa (*0.19 %*)

U_0 Tensión entre fase y neutro (*480.00 V*)

7. Características de los dispositivos de protección contra cortocircuitos (IEC 60364-4-43, apartado 434.5.1)

El poder de corte del dispositivo de protección no debe ser inferior a la máxima intensidad de cortocircuito prevista en el lugar de su instalación.

Para el caso de los fusibles (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$I_{cn} > I_{cc}$ máxima prevista en el punto de instalación del dispositivo de protección contra cortocircuitos. ✓

Con:

I_{cc} Máxima intensidad de cortocircuito prevista: *10.70 kA* ($I_{k3máx}$ *cabecera*)

I_{cn} Poder de corte asignado: *80.00 kA*

8. Características de los dispositivos de protección contra cortocircuitos (IEC 60364-4-43, apartado 434.5.2)

Para cables y para conductores aislados se debe interrumpir toda corriente causada por un cortocircuito en cualquier lugar del circuito en un tiempo que no exceda de lo necesario para llevar al aislamiento de los conductores a su temperatura límite permitida (CYPE Ingenieros S.A., 2019).

Para cortocircuitos de duración hasta 5 s, el tiempo t , en el cual una determinada intensidad de cortocircuito incrementará la temperatura del aislamiento de los conductores

desde la máxima temperatura permisible en funcionamiento normal hasta la temperatura límite puede, como aproximación, calcularse desde la fórmula (CYPE Ingenieros S.A., 2019):

$$t = \left(k \cdot \frac{S}{I_{cc}} \right) \quad \text{Ec. 21}$$

Figura 14.

Comportamiento curva disparo breaker.

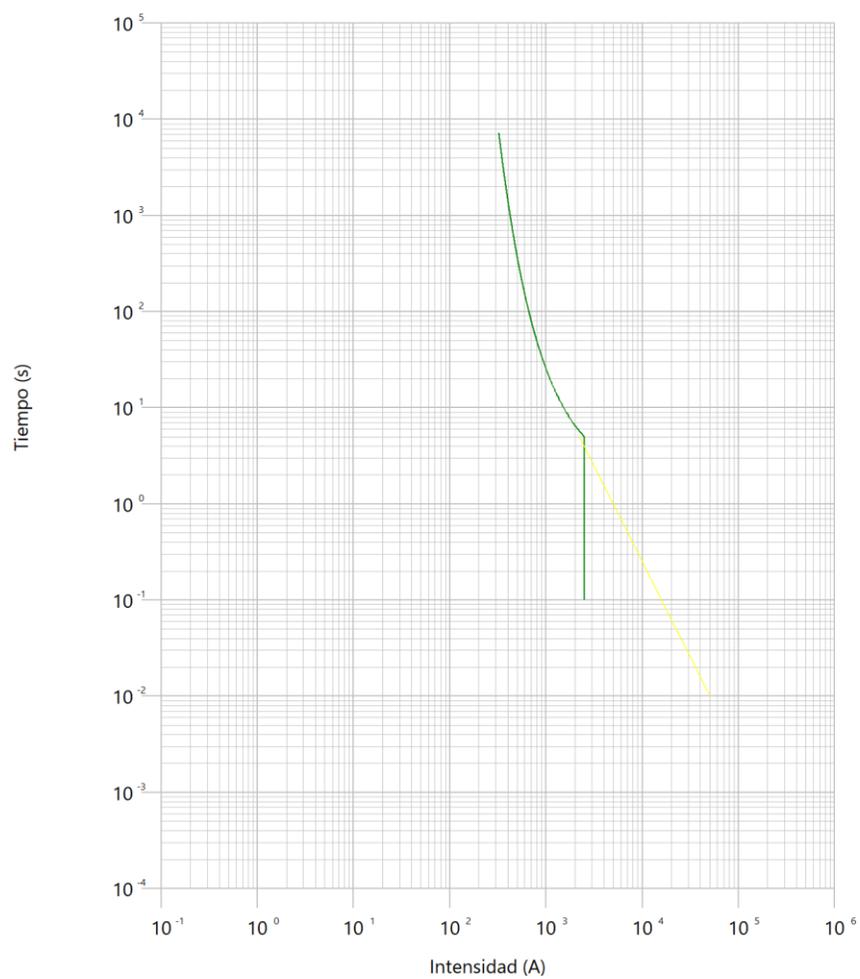


Tabla 26.

Resultados prueba protección contra cortocircuito. Fuente: (CYPE Ingenieros S.A., 2019)

I_{cc} (kA)	Tipo de cortocircuito	t_{cc} (s)	S (mm ²)	k	t_{cable} (s)	Estado
10.70	Ik3 máx cabecera	< 0.10	35.00 (F)	143	0.2188	✓
7.14	Ik3 mín pie	< 0.10	35.00 (F)	143	0.4908	✓
5.05	IkE2E máx cabecera	< 0.10	35.00 (F)	143	0.9814	✓
3.52	IkE2E mín pie	< 0.10	35.00 (F)	143	2.0204	✓
9.27	Ik2 máx cabecera	< 0.10	35.00 (F)	143	0.2918	✓
6.19	Ik2 mín pie	< 0.10	35.00 (F)	143	0.6545	✓
6.87	Ik1 máx cabecera	< 0.10	35.00 (F)	143	0.5308	✓
4.73	Ik1 mín pie	< 0.10	35.00 (F)	143	1.1214	✓

Con:

- I_{cc} Intensidad de cortocircuito
- t_{cc} Tiempo de duración del cortocircuito
- S Sección del cable
- k Factor que tiene en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y la capacidad calorífica del material del conductor, y las oportunas temperaturas iniciales y finales. Para aislamientos de conductor de uso corriente, los valores de k para conductores de línea se muestran en la tabla 43A
- t_{cable} Tiempo que tarda el conductor en alcanzar su temperatura límite admisible

6.1.5. Paso 5. Análisis de los resultados:

A partir del análisis obtenido en el diseño, se evidencia una conformidad del 75% durante la primera la evaluación de la instalación. Posterior al análisis fueron plenamente identificadas cada una de las no conformidades y ajustadas según criterio de diseño, donde CYPELEC RETIE permite que el usuario sea capaz de identificar los puntos críticos del diseño (alertas) y las no conformidades detectadas. Para el caso presentado es un diseño de una instalación eléctrica de uso final existente, evidenciando condiciones de mejora que desde el diseño y construcción debieron ser

prevenidas para garantizar la conformidad total. Dentro de las no conformidades más críticas se listan las siguientes:

- El cálculo de corriente nominal de los conductores no cumple con lo establecido en el RETIE y la NTC 2050.
- La Coordinación entre conductores y dispositivos de protección contra sobrecargas no cumple con los niveles de protección recomendados.
- Las dimensiones de las canalizaciones utilizadas dentro de los que se incluyen: tuberías, canales protectores y bandejas portacables.

Estas no conformidades permiten identificar factores que desde la instalación pueda garantizarse un uso y selección adecuada de conductores, canalizaciones que permitan un desempeño ajustado a la normatividad, lo cual responde a un diseño eficiente considerando vida útil de los elementos que conforman la instalación y mitiga los riesgos de falla, calentamiento, pérdidas técnicas y problemas de regulación.

6.1.6. Paso 6. Acceso a varios puntos de medición de la energía

Conforme al análisis de los resultados arrojados por el software CYPELECT RETIE, A continuación, se relacionan las zonas del sistema eléctrico de uso final de la edificación en estudio identificadas como puntos de acceso a medición de la energía, descritas en la siguiente **Tabla 27**:

Tabla 27.

Identificación de acceso a varios puntos de medición de la energía.

Edificio en estudio	Marque con una [X]
Cocina	X
Aula secundaria 1	
Aula secundaria 2	X
Baños piso 1	
Baños piso 2	
Biblioteca	X
Cancha múltiple	
Pasillo principal	
Jardín	
Restaurante	X
Oficinas	X

Dentro del unifilar estos sería los accesos a puntos de medición de la energía:

Figura 15.

Acceso a punto de medición de la energía (1).

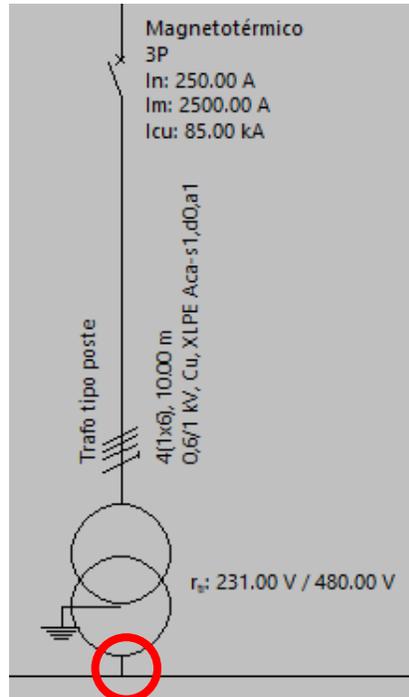


Figura 16.

Acceso a punto de medición de la energía (2).

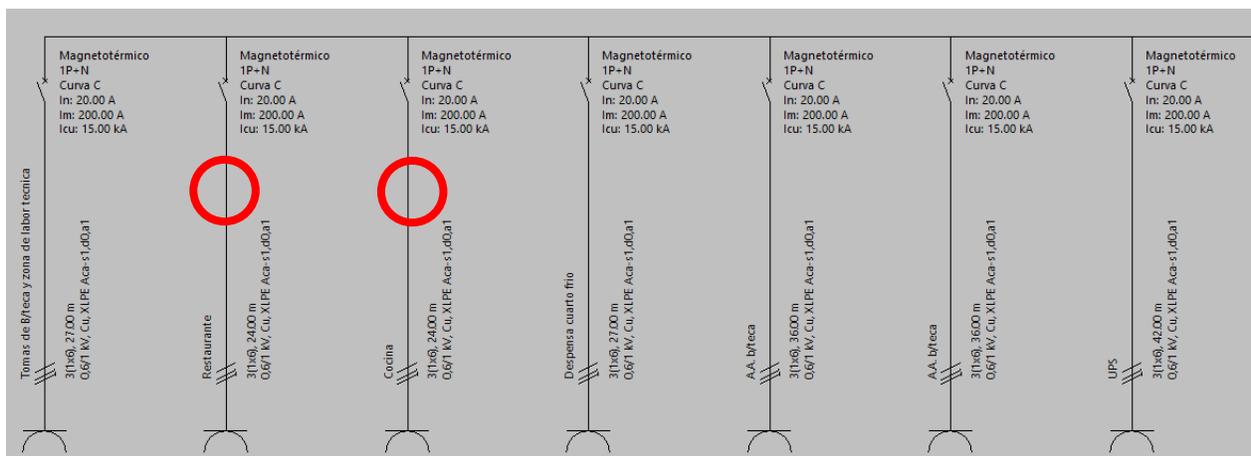
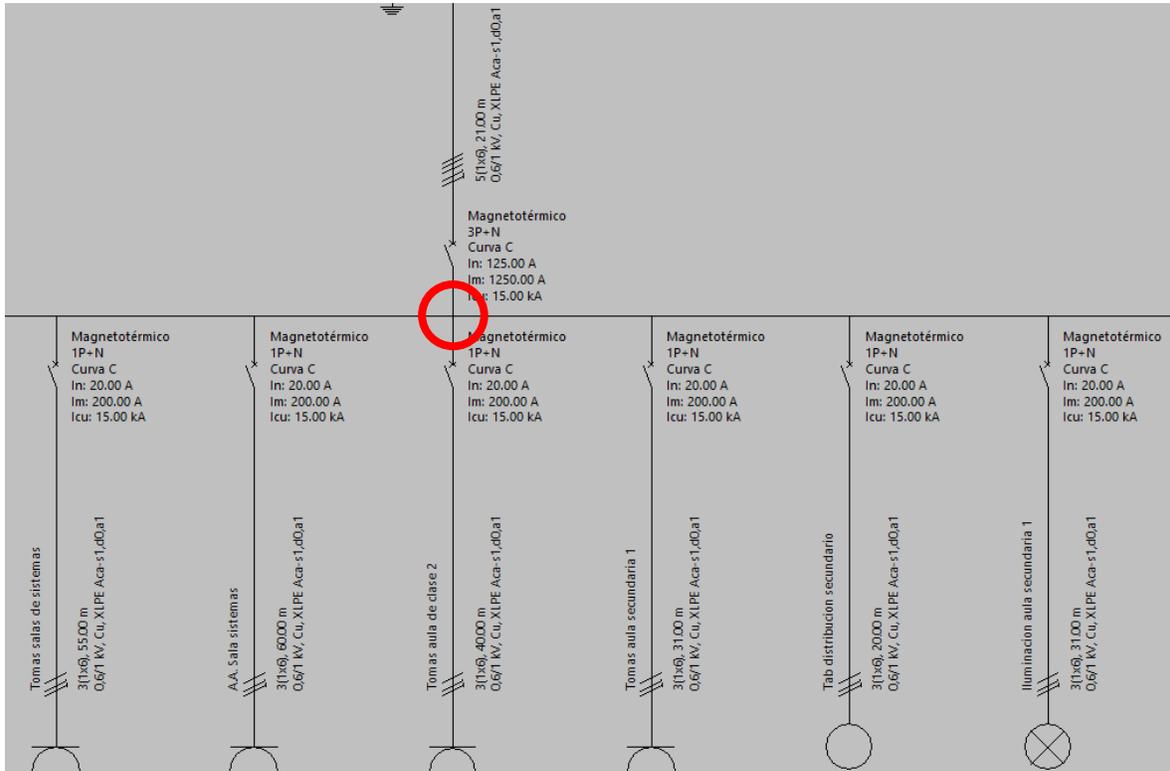


Figura 17.

Acceso a punto de medición de la energía (3).



7. Conclusiones

La presente investigación describe un procedimiento para la evaluación de proyectos de sistemas eléctricos de uso final en edificios educativos que permitan seguridad, confiabilidad, mínimas pérdidas. De esta forma se busca garantizar la conformidad y cumplimiento de la reglamentación vigente, generando un diseño óptimo centrado en las necesidades del cumplimiento y minimizando los errores que puedan ser causados desde el diseño. Se tomó como caso de estudio un edificio educativo tipo MEGACOLEGIOS, para que se puedan tomar de referencia de proyectos similares a fin de garantizar la conformidad de estos preservando los criterios de diseño que se señalan en los objetivos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE vigentes.

Para garantizar el desarrollo de las etapas y los requerimientos que conduzcan a la elaboración del proyecto, se analizaron los criterios de diseño eléctrico para edificaciones dentro de los cuales se encuentran la seguridad, la confiabilidad, las mínimas pérdidas con el fin de garantizar los objetivos del RETIE. Esto permite consolidar el pliego de condiciones iniciales requeridos para la construcción y consolidación de un proyecto y su posterior revisión. En la investigación se utilizó el software CYPELECT para optimizar el diseño y garantizar el cumplimiento de conformidades del caso real. Con el CYPELECT se pudieron identificar ventajas en fabricantes, tecnologías disponibles y especificaciones técnicas de los equipos, los cuales hacen parte de la librería utilizada para la ejecución del proyecto.

La implementación del procedimiento en el estudio de caso evidenció que el diseño eléctrico es una arista de un consolidado integrado de actividades que deben cumplirse para garantizar la completa conformidad de la instalación. En base a esta idea, se recomienda establecer estrategias integradoras de otros servicios como el caso de sistemas de climatización, agua potable, gas natural, alcantarillado, gestión de aguas residuales, entre otros, garantizando una gestión integral de la instalación.

Desde la gestión y eficiencia energética se recomienda considerar tecnologías orientadas a las “SMART CITIES” en futuros escenarios a fin de proponer desde el diseño medidas que permitan garantizar el desarrollo y consolidación de edificios inteligentes a lo largo del proyecto. Con el software CYPELECT se pueden implementar estos aspectos novedosos, los cuales deben ser utilizados desde el inicio del proyecto para garantizar la debida integración en los tiempos previstos y no posterior a la fase de planeación y factibilidad.

Referencias

- Aljehani, A., L. C. Nitsche, and S. Al-Hallaj. 2020. “Numerical Modeling of Transient Heat Transfer in a Phase Change Composite Thermal Energy Storage (PCC-TES) System for Air Conditioning Applications.” *Applied Thermal Engineering* 164. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114522.
- Anon. 2019. “ISO / IE 52000-1 EN.” 2018:27000. Retrieved (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:52000:-1:ed-1:v1:en>).
- Anon. 2020. “Medición Inteligente.” 1–4. Retrieved (<https://www.electricas.cl/temas-estrategicos/medicion-inteligente/>).
- Arteconi, A., A. Mugnini, and F. Polonara. 2019. “Energy Flexible Buildings: A Methodology for Rating the Flexibility Performance of Buildings with Electric Heating and Cooling Systems.” *Applied Energy* 251. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113387.
- Atzeni, I., L. G. Ordóñez, G. Scutari, D. P. Palomar, and J. R. Fonollosa. 2013. “Noncooperative and Cooperative Optimization of Distributed Energy Generation and Storage in the Demand-Side of the Smart Grid.” *IEEE Transactions on Signal Processing* 61(10):2454–72. doi: 10.1109/TSP.2013.2248002.
- Bakker, V., A. Molderink, S. Nykamp, J. Reinelt, J. Hurink, and G. Smit. 2013. “Controlling and Optimizing of Energy Streams in Local Buildings in a Field Test.” in *IET Conference Publications*. Vol. 2013.
- Bazydło, G., and S. Wermiński. 2018. “Demand Side Management through Home Area Network Systems.” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 97:174–85. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.10.026.

- Berdner, J., C. Whitaker, H. Wenger, C. Jennings, E. Kern, and M. Russell. 1994. "Siting, Installation, and Performance Issues for Commercial Roof-Mounted PV Systems." Pp. 981–85 in *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. Vol. 1.
- Billas, I., J. Konstantaras, E. Tsambasis, C. Elias, A. Ktena, and C. Manasis. 2019. "Smart Load for a Hybrid Microgrid Testbed." in *2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 - Proceedings*.
- Boehm, R. F. 2012. "An Approach to Decreasing the Peak Electrical Demand in Residences." Pp. 337–42 in *Energy Procedia*. Vol. 14.
- Bukoski, J. J., P. Chaiwiwatworakul, and S. H. Gheewala. 2017. "The Life Cycle Assessment of an Energy-Positive Peri-Urban Residence in a Tropical Regime." *Journal of Industrial Ecology* 21(5):1115–27. doi: 10.1111/jiec.12494.
- Capozzoli, A., M. S. Piscitelli, and S. Brandi. 2017. "Mining Typical Load Profiles in Buildings to Support Energy Management in the Smart City Context." *Energy Procedia* 134:865–74. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.545.
- Carstens, H., X. Xia, and S. Yadavalli. 2017. "Efficient Metering and Surveying Sampling Designs in Longitudinal Measurement and Verification for Lighting Retrofit." *Energy and Buildings* 154:430–47. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.08.080.
- Cerezo Davila, C., C. F. Reinhart, and J. L. Bemis. 2016. "Modeling Boston: A Workflow for the Efficient Generation and Maintenance of Urban Building Energy Models from Existing Geospatial Datasets." *Energy* 117:237–50. doi: 10.1016/j.energy.2016.10.057.
- Cheng, P. H., T. H. Huang, Y. W. Chien, C. L. Wu, C. S. Tai, and L. C. Fu. 2020. "Demand-Side Management in Residential Community Realizing Sharing Economy

with Bidirectional PEV While Additionally Considering Commercial Area.”

International Journal of Electrical Power and Energy Systems 116. doi:

10.1016/j.ijepes.2019.105512.

Cobb, M., N. Justin, A. El-Shahat, and R. J. Haddad. 2016. “Higher Education Building Efficient Electrical Design.” *SoutheastCon 2016* 1–7. doi:

10.1109/SECON.2016.7506719.

De Coninck, R., R. Baetens, D. Saelens, A. Woyte, and L. Helsen. 2014. “Rule-Based Demand-Side Management of Domestic Hot Water Production with Heat Pumps in Zero Energy Neighbourhoods.” *Journal of Building Performance Simulation*

7(4):271–88. doi: 10.1080/19401493.2013.801518.

De, De, Building Information Modeling, and Origen Bim. 2020. “Modelado de Información de Construcción.” 5–7.

Fan, Yuling, and Xiaohua Xia. 2018. “Energy-Efficiency Building Retrofit Planning for Green Building Compliance.” *Building and Environment* 136(October 2017):312–21.

doi: 10.1016/j.buildenv.2018.03.044.

Ge, Jian, Jiajing Wu, Shuqin Chen, and Jindong Wu. 2018. “Energy Efficiency Optimization Strategies for University Research Buildings with Hot Summer and Cold Winter Climate of China Based on the Adaptive Thermal Comfort.” *Journal of Building Engineering* 18(October 2017):321–30. doi: 10.1016/j.jobe.2018.03.022.

Georgiou, G. S., P. Christodoulides, S. A. Kalogirou, G. A. Florides, and L. Lazari. 2016.

“A Preliminary Design of an Intelligent System for the Optimal Utilization of Renewable Energy Sources in Buildings.” Pp. 528–36 in *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*. Vols. 2016-Janua.

Gyamfi, Samuel, Felix Amankwah Diawuo, Ebenezer Nyarko Kumi, Frank Sika, and

Mawufemo Modjinou. 2018. "The Energy Efficiency Situation in Ghana." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82(June 2017):1415–23. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.007.

Harirchi, F., R. Hadidi, and B. Schroeder. 2019. "Comprehensive Benchmark System for Load Management Applications Using Morphological-Based Load Profile Clustering." in *Conference Record - Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*. Vols. 2019-May.

Howell, S., Y. Rezugui, J. L. Hippolyte, and M. Mourshed. 2016. "Semantic Interoperability for Holonic Energy Optimization of Connected Smart Homes and Distributed Energy Resources." Pp. 259–68 in *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2016*.

Hu, Q., J. Chan, F. Li, and D. Chen. 2014. "A Comprehensive User Interactive Simulation Tool for Smart Home Application." in *2014 Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2014 - Proceedings*.

Hu, Q., and F. Li. 2013. "Hardware Design of Smart Home Energy Management System with Dynamic Price Response." *IEEE Transactions on Smart Grid* 4(4):1878–87. doi: 10.1109/TSG.2013.2258181.

Hussain, B., and Qadeer-Ul-Hassan. 2017. "Demand Side Management for Smart Homes in Pakistan." in *ICET 2016 - 2016 International Conference on Emerging Technologies*.

ICONTEC. 2019. *NTC-ISO 50001:2019. Sistema de Gestión Eficiente de La Energía. Requisitos Con Orientación Para Su Uso*. Colombia.

- ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas técnicas y Certificación. 1998. “Codigo Electrico Colombiano.” 1020.
- Iluminaci, La. 2020. “Iluminación En La Arquitectura.” 2–3. Retrieved (https://es.wikipedia.org/wiki/Iluminación_en_la_arquitectura).
- Karlsen, S. S., M. Hamdy, and S. Attia. 2020. “METHODOLOGY TO ASSESS BUSINESS MODELS OF DYNAMIC PRICING TARIFFS IN ALL-ELECTRIC HOUSES.” *Energy and Buildings* 207. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109586.
- Ki-moon, Ban. 2008. “Kyoto Protocol Reference Manual.” *United Nations Framework Convention on Climate Change* 130. doi: 10.5213/jkcs.1998.2.2.62.
- Kipping, A., and E. Trømborg. 2018. “Modeling Aggregate Hourly Energy Consumption in a Regional Building Stock.” *Energies* 11(1). doi: 10.3390/en11010078.
- Koezjakov, A., D. Urge-Vorsatz, W. Crijns-Graus, and M. van den Broek. 2018. “The Relationship between Operational Energy Demand and Embodied Energy in Dutch Residential Buildings.” *Energy and Buildings* 165:233–45. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.01.036.
- Krarti, Moncek, and Kankana Dubey. 2018. “Benefits of Energy Efficiency Programs for Residential Buildings in Bahrain.” *Journal of Building Engineering* 18(May 2017):40–50. doi: 10.1016/j.job.2018.02.018.
- Krishnanand, K. R., D. C. Hoang, S. K. Panda, and R. Zhang. 2014. “Optimal Appliance Scheduling in Building Operating Systems for Cost-Effective Energy Management.” Pp. 5394–99 in *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*.
- Lana, A., T. Kaipia, A. Pinomaa, P. Nuutinen, A. Narayanan, and J. Partanen. 2017. “LVDC Network Integrated Functionalities for Demand Response.” Pp. 262–69 in

2017 IEEE 2nd International Conference on Direct Current Microgrids, ICDCM 2017.

Di Lecce, V., M. Dassisti, D. Soldo, A. Giove, A. Quarto, A. Galiano, and M. Chimienti.

2014. *Improving Sustainability of Energy Production: Design of a Demand Side Management System Using an Auction Model.* Vol. 261.

Lee, J., H. J. Kim, G. L. Park, and M. Kang. 2012. “Energy Consumption Scheduler for Demand Response Systems in the Smart Grid.” *Journal of Information Science and Engineering* 28(5):955–69.

Lindberg, K. B., G. Doorman, D. Fischer, M. Korpås, A. Ånestad, and I. Sartori. 2016.

“Methodology for Optimal Energy System Design of Zero Energy Buildings Using Mixed-Integer Linear Programming.” *Energy and Buildings* 127:194–205. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.039.

Makhmalbaf, A., and G. Augenbroe. 2015. “Using Time Variant Voltage to Calculate

Energy and Power Consumption of Building Systems.” Pp. 1601–8 in *14th International Conference of IBPSA - Building Simulation 2015, BS 2015, Conference Proceedings.*

Martirano, L., G. Parise, M. C. Falvo, U. Grasselli, and A. Di Giorgio. 2015. “On the

Integration of Small Scale Storage at Home: Electrical and Control Design.” in *2015 IEEE/IAS 51st Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, I and CPS 2015.*

Ministerio de Minas y Energía. 2004. *Resolución 180398 de 2004. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.* Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. 2013a. *RETIE - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.* Bogotá, Colombia.

- Ministerio de Minas y Energía. 2013b. *RETIE - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Bogotá, Colombia.
- Mišák, S., J. Stuchlý, J. Platoš, and P. Krömer. 2015. “A Heuristic Approach to Active Demand Side Management in Off-Grid Systems Operated in a Smart-Grid Environment.” *Energy and Buildings* 96:272–84. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.03.033.
- Molinari, F., and A. Zonta. 2017. *Putting Serious Games in Context: The Energy Efficiency of Buildings Case*. Vol. 10622 LNCS.
- Moness, M., and A. M. Moustafa. 2016. “A Survey of Cyber-Physical Advances and Challenges of Wind Energy Conversion Systems: Prospects for Internet of Energy.” *IEEE Internet of Things Journal* 3(2):134–45. doi: 10.1109/JIOT.2015.2478381.
- Mugnini, A., F. Polonara, and A. Arteconi. 2019. “Quantification of Energy Flexibility from Air Conditioning of Residential Buildings.” Pp. 4997–5005 in *Refrigeration Science and Technology*. Vols. 2019-Augus.
- Murcia. 2017. “Qué Es La Gestión de La Demanda.”
- Naspolini, H. F., H. S. G. Militão, and R. Rüther. 2010. “The Role and Benefits of Solar Water Heating in the Energy Demands of Low-Income Dwellings in Brazil.” *Energy Conversion and Management* 51(12):2835–45. doi: 10.1016/j.enconman.2010.06.021.
- O’Connell, S., G. Reynders, F. Seri, R. Sterling, and M. M. Keane. 2019. “A Standardised Flexibility Assessment Methodology for Demand Response.” *International Journal of Building Pathology and Adaptation* 38(1):20–37. doi: 10.1108/IJBPA-01-2019-0011.
- Osorio-Villegas, Margarita, and Mónica Patricia-Borjas. 2013. *La Educación En Barranquilla. Vivencias, Miradas y Sueños*. Barranquilla: Universidad del Norte.

- Papaioannou, T. G., D. Kotsopoulos, C. Bardaki, S. Lounis, N. Dimitriou, G. Bouladakis, A. Garbi, and A. Schoofs. 2017. "IoT-Enabled Gamification for Energy Conservation in Public Buildings." in *GIoTS 2017 - Global Internet of Things Summit, Proceedings*.
- Peltokorpi, A., M. Talmar, K. Castrén, and J. Holmström. 2019. "Designing an Organizational System for Economically Sustainable Demand-Side Management in District Heating and Cooling." *Journal of Cleaner Production* 219:433–42. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.106.
- RETILAP. 2010. "Reglamento Tecnico de Iluminacion y Alumbrado Publico." 400.
- Sancho-Tomás, A., M. Sumner, and D. Robinson. 2017. "A Generalised Model of Electrical Energy Demand from Small Household Appliances." *Energy and Buildings* 135:350–66. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.10.044.
- Scherer, Raimar J., and Peter Katranuschkov. 2018. "BIMification: How to Create and Use BIM for Retrofitting." *Advanced Engineering Informatics* 38(November 2017):54–66. doi: 10.1016/j.aei.2018.05.007.
- Sepehr, Mohammad, Reza Eghtedaei, Ali Toolabimoghadam, Younes Noorollahi, and Mohammad Mohammadi. 2018. "Title: Modeling the Electrical Energy Consumption Profile for Residential Buildings in Iran Modeling the Electrical Energy Consumption Profile for Residential Buildings in Iran." *Sustainable Cities and Society* 41(17):481–89. doi: 10.1016/j.scs.2018.05.041.
- Shah, N., and N. Hewitt. 2016. "High Temperature Heat Pump Operational Experience as a Retrofit Technology in Domestic Sector." in *2015 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation/ International Technology Management Conference, ICE/ITMC 2015*.

- Strielkowski, W., D. Streimikiene, A. Fomina, and E. Semenova. 2019. “Internet of Energy (IoE) and High-Renewables Electricity System Market Design.” *Energies* 12(24). doi: 10.3390/en12244790.
- Symp, Systems. 2012. “ANALYSIS OF IMPACTS ON ELECTRIC POWER SYSTEM OPERATION OF LOAD MANAGEMENT IN RESIDENTIAL AND TERTIARY BUILDINGS DIEETCAM Università Di Palermo , Italy.” *Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), 2012 IEEE International* 714–19. doi: 10.1109/EnergyCon.2012.6348244.
- Thornburg, J., and B. Krogh. 2017. “Simulating Energy Management Strategies for Microgrids with Smart Meter Demand Management.” Pp. 600–605 in *Proceedings - 2017 IEEE PES-IAS PowerAfrica Conference: Harnessing Energy, Information and Communications Technology (ICT) for Affordable Electrification of Africa, PowerAfrica 2017*.
- UPME. 2017. *Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 - 2022*. Bogota.
- Vigna, Ilaria, Roberta Perneti, Wilmer Pasut, and Roberto Lollini. 2018. “New Domain for Promoting Energy Efficiency: Energy Flexible Building Cluster.” *Sustainable Cities and Society* 38(February):526–33. doi: 10.1016/j.scs.2018.01.038.
- Vill, K., A. Rosin, and M. Lehtla. 2016. “Modeling of Demand Side Management Scenarios in Apartment Buildings.” Pp. 113–18 in *10th International Conference - 2016 Electric Power Quality and Supply Reliability, PQ 2016, Proceedings*.
- Wang, J. M., L. R. Chen, and S. Z. Zhang. 2007. “Research on DSM Based Distribution Marketing Decision Support System.” in *2006 International Conference on Power System Technology, POWERCON2006*.

Wilcutt, Kyle E. 1988. "UTILITIES ROLE IN CONCEPTUAL BUILDING DESIGN." Pp. 597–607 in *Energy Technology: Proceedings of the Energy Technology Conference*.

Vol. 15.

Zhao, Z., C. Yu, M. Yew, and M. Liu. 2015. "Demand Side Management: A Green Way to Power Beijing." *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 7(4). doi:

10.1063/1.4927149.

CYPE Ingenieros S.A. 2019. "CYPELEC RETIE". España