

**VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DEL
CABLEADO DE UN EMULADOR DE MICRO-RED BASADO EN LA SIMULACIÓN
DE LA OPERACIÓN DE DOS MODELOS ESTANDARIZADOS IEEE DE 5 Y 9 NODOS
EN CORRIENTE ALTERNA**

**JUAN SEBASTIAN GÓMEZ OCHOA
GIOVANI OSORIO RUIZ
JONATHAN ANDRES ZAPATA SUAREZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2021**

**VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DEL
CABLEADO DE UN EMULADOR DE MICRO-RED BASADO EN LA SIMULACIÓN
DE LA OPERACIÓN DE DOS MODELOS ESTANDARIZADOS IEEE DE 5 Y 9 NODOS
EN CORRIENTE ALTERNA**

**JUAN SEBASTIAN GÓMEZ OCHOA
GIOVANI OSORIO RUIZ
JONATHAN ANDRES ZAPATA SUAREZ**

Trabajo de grado para optar al título de tecnólogo en eléctrica

**Asesor técnico
Carlos Mario Moreno Paniagua
Ingeniero eléctrico**

**Asesor metodológico
Carlos David Zuluaga Ríos
Phd en Ingeniería eléctrica, electrónica y de comunicaciones**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN**

2021

Contenido

	Pág.
1. Planteamiento del problema	16
1.1 Descripción	16
1.2 Formulación	17
2. Justificación	18
3. Objetivos	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos específicos	19
4. Referentes teóricos	20
4.1 Demanda energética	20
4.2 Microrred	21
4.3 Elementos que componen una microrred	23
4.3.1 generadores.	23
4.3.2 Almacenamiento de energía.	24
4.3.3 Gestión y control.	24
4.4 Modelos IEEE 5 y IEEE 9	25
4.5 Normatividad aplicada a sistemas de generación en Colombia.	26
5. Metodología	28
5.1 Tipo de proyecto	28
5.2 Método	28
5.3 Instrumentos de recolección de información.	30
5.3.1 Fuentes primarias.	30
5.3.2 Fuentes secundarias.	30

	5
6. Resultados del proyecto	31
6.1 Visita técnica y entrevista.	31
6.1.2 Tabla de convenciones, unifilar y plano de la microrred.	32
6.1.4 Corriente en el conductor:	37
6.1.5 Caída de tensión.	38
6.1.6 Voltaje nominal.	38
6.1.7 Carga total.	38
6.1.8 Corriente total.	39
6.2 Cálculo de las variables de la red	39
6.2.1 Demostración en software PowerFactoryDigsilent.	43
6.2.2 Conclusión según resultados programa de simulación.	50
7. Conclusiones	54
8. Recomendaciones	55
9. Referencias bibliográficas	56
10. Bibliografía	57

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Consumo mundial de energía renovable de 2000 a 2020 (en exajulios).	20
Figura 2. Modelo básico de una microrred	22
Figura 3. Comparación de tecnologías para sistemas de almacenamiento de energía.....	24
Figura 4. Esquema general de un modelo IEEE 5	25
Figura 5. Esquema general de un modelo IEEE 9	25
Figura 6. Imágenes de visita técnica.	31
Figura 7. Unifilar de la microrred	33
Figura 8. Plano de distribución de luminarias.....	34
Figura 9. Diseño de la distribución luminarias en 2d	35
Figura 10. Luminaria de microrred	36
Figura 11. Imagen de la fuente de tensión	36
Figura 12. Tabla 310.16-NTC 2050.....	37
Figura 13. Tabla de ductos PVC eléctricos.....	38
Figura 14. Diagrama unifilar.....	39
Figura 15. Registro de corriente simulador electronics workbench.....	42
Figura 16. Registro corriente total desde simulador electronics workbench	42
Figura 17. Registro variable resistencia desde simulador electronics workbench.....	42
Figura 18. Tabla de selección conductores	43
Figura 19 Diseño de simulador microrred 5 y 9 nodos.....	44
Figura 20 Representación de las barras.....	45
Figura 21 <i>Parámetros de las barras.</i>	45
Figura 22 Representación de la línea.	46
Figura 23 Parámetros de las líneas.....	46
Figura 24 Parámetros de las líneas.....	47
Figura 25 Representación de la luminaria (Carga).	48
Figura 26 Parámetros de las cargas.....	48
Figura 27 Fuente, Generador o alimentación.....	49
Figura 28 Parámetros del generador.	49
Figura 29 Parámetros del generador.	50

Figura 30 Diseño con flujo de cargas activado. 51

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.....	32
Tabla 2.....	35
Tabla 3.....	41
Tabla 4.....	52

Ecuaciones**Pág.**

Ecuación 1	40
Ecuación 2	40
Ecuación 3	41

Resumen

VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DEL CABLEADO DE UN EMULADOR DE MICRORRED BASADO EN LA SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE DOS MODELOS ESTANDARIZADOS IEEE DE 5 Y 9 NODOS EN CORRIENTE ALTERNA

**JUAN SEBASTIAN GÓMEZ OCHOA
GIOVANI OSORIO RUIZ
JONATHAN ANDRES ZAPATA SUAREZ**

El siguiente es un informe aplicado a la viabilidad técnica del cableado de un emulador de microrred en AC, el cual se realizó mediante la simulación para la institución universitaria pascual bravo. Actualmente la institución tiene en su campus en una de sus zonas peatonales un circuito de iluminación basado en una microrred el cual no posee conexión a la red eléctrica, por consiguiente, se decide investigar la puesta en funcionamiento de este mediante la simulación, dicha microrred debe llevar un cableado el cual soporte las cargas asignadas en el circuito que se definirá en este proyecto. Se pondrá en contexto la necesidad actual de sistemas de microrredes para suplir o asistir las redes de transmisión de energía en la demanda energética mundial, se conceptualizará la microrred, sus componentes y funcionamiento. Se aplicará la normatividad vigente colombiana para el diseño y simulación de la microrred y sus respectivos cálculos de funcionamiento, lo cual arroje una deducción acertada del conductor correspondiente por medio de la norma NTC-2050, a través de visitas técnicas, recolección de datos e información visual del área de instalación que permita una correcta simulación del sistema de microrred y su posterior emulación para implementación dentro de la institución, donde se demuestre la favorabilidad de la microrred frente a otros sistemas de transmisión actuales y permita visualizar su funcionamiento tanto para el ámbito investigativo como instructivo para la comunidad educativa.

Palabras claves: Microrred, cableado, energías renovables, corriente alterna, simulación, emulación, modelo estandarizado.

Abstract

The following is a report applied to the technical feasibility of wiring a micro-network emulator in AC, which was carried out through simulation for the Pascual Bravo university institution. Currently the institution has on its campus in one of its pedestrian areas a lighting circuit based on a microgrid which does not have a connection to the electrical grid, therefore, it is decided to investigate the implementation of this through simulation, said microgrid must carry a wiring which supports the assigned loads in the circuit that will be defined in this project. The current need for microgrid systems to supply or assist energy transmission networks in the global energy demand will be put into context, the microgrid, its components and operation will be conceptualized. The current Colombian regulations will be applied for the design and simulation of the microgrid and its respective calculations of operation, which yields a correct deduction of the corresponding driver through the NTC-2050 standard, through technical visits, data collection and information. Visual of the installation area that allows a correct simulation of the microgrid system and its subsequent emulation for implementation within the institution, where the favorability of the microgrid is demonstrated compared to other current transmission systems and allows visualizing its operation both for the investigative field as an instruction for the educational community.

Keywords: Microgrid, wiring, renewable energy, alternating current, simulation, emulation, standardized model.

Glosario

Conductor: material que ofrece poca resistencia al movimiento de cargas eléctricas.

Corriente directa: corriente en la cual el flujo continuo de carga eléctrica que no cambia de sentido con el tiempo a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial y carga eléctrica.

Corriente nominal: tope de corriente que puede tomar un equipo o instrumento dado en la red.

Descarbonización: Visto desde la economía es el proceso de reducción de emisiones de carbono o una economía baja en combustibles fósiles que afecten la integridad de la capa de ozono.

Emulador: imitación que se hace de una cosa o mecanismo procurando igualarla o mejorarla.

Fuente AC a DC: instrumento de conversión que toma la energía de la red en AC y la transforma en DC.

Generación: creación o transformación de algo, visto desde la generación eléctrica es la transformación de alguna clase de energía en energía eléctrica.

Luminaria: artefacto que contiene un dispositivo o artefacto electrónico que proporciona iluminación.

Nodo: punto donde dos o más componentes eléctricos tienen una conexión en común.

Potencia: trabajo a realizar por una unidad de carga para mover dicha carga dentro de un campo electrostático desde el punto de referencia hasta el punto considerado, ignorando el componente rotacional del campo eléctrico.

Ramal: conjunto de cargas o circuitos eléctricos interconectados.

Red eléctrica: red interconectada que tiene la función de suministro eléctrico desde el proveedor hasta el consumidor.

Simulador: sistema que reproduce y permite ver el funcionamiento y comportamiento de mecanismos dados.

Tensión eléctrica: también llamada diferencia de potencial o voltaje es la magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial entre dos puntos o trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones.

Voltaje nominal: tope de diferencia de potencial o voltaje que puede tomar de la red y aguantar un equipo o instrumento dado.

Introducción

El aumento constante de la demanda energética debido al crecimiento de población que repercute en la escasez del suministro eléctrico y en ocasiones la dificultad que se genera para llevar energía eléctrica a determinados hogares en los cuales por condiciones adversas de los terrenos se vuelve imposible llevar el servicio, nos empuja a buscar nuevos sistemas de transmisión de energía, es por esto, que un grupo de estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo diseño e implementó una microrred en dicha institución desde la base de sus conocimientos e investigaciones con el fin de realizar los cálculos y parámetros que definieran la base para la cual pueda ser implementada en dichos hogares adversos, basados en otros tipos de fuentes de generación, las cuales pueden llegar a ser más livianas para su transporte y sean más limpias para el medio ambiente, disminuyendo o evitando la contaminación proveniente de combustibles fósiles y minerales causantes del detrimento de la capa de ozono, la cual consecuentemente se ve afectada de forma negativa causando la problemática ambiental que actualmente nos ocupa.

La Investigación y desarrollo en la generación de energía proveniente de fuentes renovables ha arrojado resultados satisfactorios, hace algunos años era impensable reemplazar por completo la generación de energía proveniente de recursos minerales y fósiles por fuentes renovables debido a los altos costos y poca eficiencia, pero año tras año esto ha ido cambiando gracias a los avances tecnológicos, optar por producir energía a gran escala y a un costo razonables cada vez es más posible.

Los sistemas de potencia y generación distribuida actuales como las microrredes basadas en sistemas de generación a través de fuentes renovables nos permiten trabajar de forma totalmente autónoma o servir como complemento a las redes de distribución del sistema interconectado nacional, el cual suministra la energía en Colombia para establecimientos como la institución universitaria pascual bravo.

El proyecto al cual va dirigido esta investigación abarca los cálculos e implementación del cableado en un emulador de microrred en AC de un sistema de iluminación de un sendero

peatonal de la institución universitaria pascual bravo tomando como base los estándares IEEE de 5 y 9 nodos en la simulación para el diseño de dicho sistema el cual deberá ser analizado y viabilizado para su posterior implementación.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Desde los acuerdos de París en 2015 donde el objetivo es no dejar aumentar la temperatura global en más de 2 grados Celsius, la “transición energética” estas dos palabras han tomado mucha relevancia frente al inminente cambio climático que actualmente evidenciamos y el panorama que se nos avecina de cara al futuro si no se toman medidas estrictas. Aunque se vean afectados temas políticos y económicos, la descarbonización de los sistemas energéticos es prioritario, pues fueron 196 países los participantes en el encuentro, esto nos muestra la importancia de los acuerdos que allí se plantearon. Ministerio de Minas y Energía (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia.*

Parte de las soluciones que se vienen experimentando debido a la búsqueda de alternativas a la producción de energía mediante combustibles fósiles es la implementación de microrredes las cuales no son más que sistemas los cuales pueden ir interconectados a la red de transmisión nacional como apoyo a la generación del país o trabajar como sistemas de forma independiente para aquellos lugares donde las redes de transmisión de energía no llegan; estas incluyen elementos de generación provenientes de energías renovables.

En la Institución Universitaria Pascual Bravo se está desarrollando un proyecto de microrredes de 5 y 9 nodos con el cual se pretende alimentar un ramal de luminarias ubicado sobre la zona peatonal hacia el cerro el volador, que actualmente se encuentra conectada a un sistema de DC, dicho proyecto en su estructura se constituye de varios elementos, entre ellos el cableado el cual es la base de investigación de este proyecto; éste necesita de cálculos precisos, confiables y seguros, regidos por la normatividad vigente en el país. Es necesario y de vital importancia obtener estos cálculos ya que el cableado es uno de los elementos principales que componen cualquier red eléctrica y aseguran la correcta entrega de potencia a las cargas que componen la red, la adecuada elección del conductor permitirá que no existan fallas o sobrecalentamientos, que se eviten problemas y posteriores accidentes en el sistema, además de obtener los parámetros adecuados para la simulación de la microrred.

1.2 Formulación

¿Cómo realizar el cálculo adecuado del cableado para la red de transmisión de la microrred de AC y DC de las luminarias que están ubicadas sobre el sendero peatonal del campus universitario de manera que cumpla con los estándares de calidad y normatividad que lo rige en Colombia?

2. Justificación

El constante crecimiento poblacional y la compleja obtención de los recursos para cubrir la alta demanda energética repercute en la investigación y desarrollo de sistemas basados en fuentes no convencionales de energía, que les inyecten a las redes de transmisión ya existentes o que trabajen de forma independiente, de tal manera que trabajen a su vez de forma eficaz y eficiente.

El cálculo y análisis de los recursos en pro de minimizar el impacto ambiental y el mejor aprovechamiento de estos invita a desarrollar sistemas que cumplan las necesidades energéticas de la sociedad.

La comunidad de la institución universitaria Pascual Bravo necesita de proyectos que involucren el desarrollo e implementación de sistemas de microrredes que cubran las necesidades energéticas dentro de su campus, siendo pionera en diseños punteros y con la mejor optimización en la utilización de recursos que permitan obtener datos experimentales para la realización de los proyectos de investigación científica.

El mundo actual va en contra de seguir utilizando los recursos fósiles para la obtención de energía y el mañana exige la creación de sistemas eléctricos que aprovechen las fuentes renovables.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar técnicamente la operación de los modelos estandarizados IEEE de 5 y 9 nodos para el cálculo e implementación del cableado de un emulador de microrred basado en la simulación en corriente alterna.

3.2 Objetivos específicos

Identificar la necesidad en iluminación del sendero peatonal, sus alcances y elementos necesarios para cubrir la potencia necesaria en la emulación de la microrred del sendero peatonal, tabulando los datos obtenidos para su respectivo cálculo y análisis en la obtención del cableado necesario para la implementación del emulador de micro red con base en los estándares IEEE de 5 y 9 nodos.

Diseñar e implementar la estructura del cableado de red en AC a partir de las variables y datos obtenidos en trabajo de campo.

Validar técnicamente la estructura de red cableada a partir del modelo estandarizado IEEE de 5 y 9 nodos.

4. Referentes teóricos

4.1 Demanda energética

La demanda energética creciente consecuentemente origina retos constantes en el suministro de energía eléctrica que limitan el uso de esta, la cual se traduce en altos costos de operación y suministro; la búsqueda de nuevas fuentes energéticas da como resultado la implantación de alternativas a través de recursos renovables como la energía producida por medio de sistemas que aprovechen la obtención de esta por medio del sol, el viento, biomasa o las mareas, que buscan complementar la demanda sin que estas fuentes afecten el medio ambiente de forma directa pues son recursos que en gran medida no ocasionan residuos en el proceso de transformación energética como los combustibles fósiles o la modificación del medio ambiente como las centrales hidroeléctricas. Edenhofer, Pichs-Madruga, Sokona, Seyboth, Matschoss, Kadner... Stechow. (2011) *informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático (IPCC)*, pp. 19- 242.

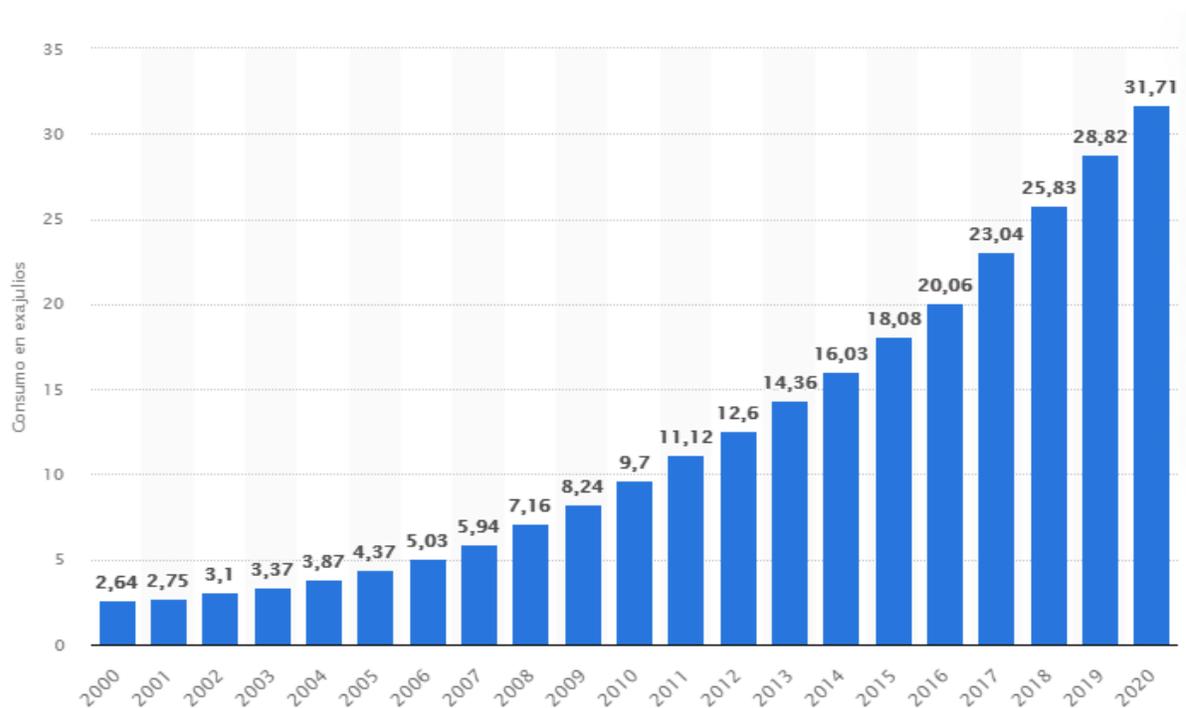


Figura 1. Consumo mundial de energía renovable de 2000 a 2020 (en exajulios).

Fuente: extraído de Orus, (12 Oct. 2021). • *Energía renovable: consumo global 2000-2020*

Nota: La figura 1 representa el consumo mundial de energía renovable en un periodo que abarca desde el año 2000 al 2020, en la cual se refleja un crecimiento 12 veces mayor.

El porcentaje de uso de energías renovables fue del 17.5% frente al consumo total en la unión europea en el año 2017 la cual nos da un panorama general de hacia dónde va el mundo siendo la unión europea un referente en cuanto a desarrollo poblacional.

Las estadísticas nos indican que la cuota de electricidad en el consumo final solo para los países del G20 marcó un crecimiento del 21.7% aproximadamente en el presente año 2021 y el crecimiento en el uso de energías provenientes de fuentes renovables indicó un porcentaje del 29%, aunque el factor de carbono disminuyó solo un 1.8% en el año 2020 debido al repunte del uso de este tipo de fuentes, por lo cual la oportunidad de uso en energías provenientes de fuentes renovables es aún más prioritaria. Anuario estadístico mundial de energía (2021). Recuperado de Enerdata. (2021). *Energía y clima mundial – Anuario estadístico 2021*. <https://datos.enerdata.net/>.

El panorama en Colombia aún es muy verde, aunque el país tiene condiciones adecuadas para la implementación de generadores para obtener energía a través de fuentes renovables, su uso no está muy extendido, la capacidad actual instalada proveniente de fuentes renovables excluyendo las centrales hidroeléctricas está cerca a los 1400 megavatios y el gobierno nacional solo provee para el año 2022 un capacidad instalada cerca a los 2500 megavatios en un país donde la radiación promedio diaria es de 4.5 kWh/m² y la mejor región con el promedio más alto en radiación en el país es la península de la guajira con 6 kWh/m². PORTAFOLIO. (2022). El país multiplicará por cien su capacidad en energías renovables. *Infraestructura*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/el-pais-multiplicara-su-capacidad-en-energias-renovables-560479>

4.2 Microrred

La definición general de microrred eléctrica nos dice que es un conjunto de micro generadores, sistemas de almacenamiento de energía, cargas y control que hace parte de la generación distribuida, la cual puede funcionar de manera aislada o conectada a la red, la cual tiene como propósito brindar garantía de suministro eléctrico en todo momento a los usuarios. Una microrred eléctrica básicamente es un sistema de suministro de energía que varía en tamaño

según el requerimiento de potencia que demandan las cargas, el cual se implementa dentro de un establecimiento o conjunto cerrado llámese una fábrica, edificio, institución académica, local comercial entre otros. Ariza Melo. (2020). Microrredes: una alternativa sostenible para la universalización de la energía eléctrica. pp 2-12. Santiago de Cali.

El objetivo de una microrred eléctrica es proporcionar de forma eficiente y controlada la energía demandada, obtenida a través de los generadores y el uso de los sistemas de almacenamiento, permitiéndole a la red eléctrica ser más robusta, confiable y segura, que a su vez busque reducir costos de operación y un uso eficiente por parte de los usuarios.

Las principales ventajas de una microrred eléctrica son la reducción de pérdidas en la línea, mejora en el perfil de voltaje, la reducción en el uso de fuentes contaminantes, aumento de la confiabilidad y eficiencia energética y en general problemas asociados a la calidad de la energía, en términos económicos la implementación de una microrred puede acarrear costos adicionales a los ya incluidos en la instalación de una red conectada a el proveedor de suministro eléctrico local, pero debe ser vista como una inversión, ya que sus beneficios antes mencionados justifican su construcción debido a la reducción de dependencia de la red principal suministrada por el operador de red.

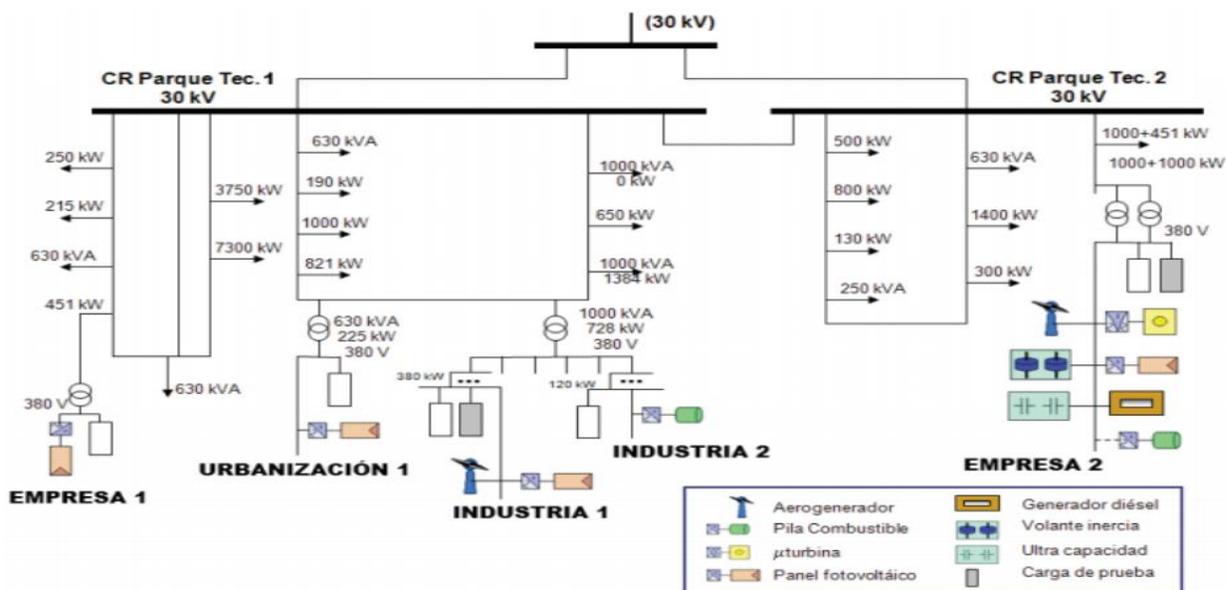


Figura 2. Modelo básico de una microrred

Fuente: extraído de Ramón Ducoy, F. (2012). “Implantación de energías renovables en una planta de producción de amoníaco”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

4.3 Elementos que componen una microrred

Para controlar una microrred de forma eficiente debe existir un controlador central al principio de la red el cual se encargue de dirigir de forma inteligente los elementos que la componen, pues aparte de los beneficios que esta proporciona también puede inducir intermitencias, pues al ser una microrred basada en una fuente solar el flujo de energía generado puede no ser constante y ocasionar problemas en la red al no sostener al mismo nivel de tensión, frecuencia o una respuesta lenta por parte de los micro generadores o pilas de almacenamiento las cuales no tienen la inercia por sí solas para responder ante cambios bruscos en la red externa a la cual esté conectada la microrred; por lo tanto dicho controlador debe dirigir de manera estable y asegurar el despacho de tensión y frecuencia a las cargas que deben conectarse o desconectarse de ser necesario.

Dependiendo del tipo de conexión y la cantidad de cargas conectadas a la red el estándar IEEE 1547.4 2011 establece varias configuraciones para microrredes eléctricas.

4.3.1 generadores. Las microrredes poseen una ventaja frente a sistemas de generación de más grande escala y es la opción de escoger el tipo de generador que el usuario desee, como generación eólica, solar, hídrica o proveniente de combustibles, entre otros.

El trabajo actual se basará en una microrred a partir de generadores fotovoltaicos por lo que en el mercado actual existe gran variedad de oferta y demanda lo cual a su vez facilita la obtención de equipos debido a la alta competitividad de precios y gran variedad de dispositivos para su montaje.

Es una tecnología que está en constante desarrollo por lo cual los beneficios a futuro cada vez son mayores, su funcionamiento es silencioso, es amigable con el medio ambiente y se asegura su sostenibilidad a largo plazo aparte de ser impulsado.

4.3.2 Almacenamiento de energía. Debido a la naturaleza intermitente y variable de los sistemas de generación provenientes de fuentes renovables los cuales conllevan mejores requerimientos para la gestión, control e instrumentación, los sistemas de almacenamiento de energía deben ir en armonía con los diseños de los sistemas de microrredes y su elección depende del grado de confiabilidad y seguridad que se requiera implementar en la red, en la figura 3 se puede observar la comparación entre diferentes de tipos de tecnología de almacenamiento de energía existentes; los sistemas de almacenamiento procuran inyectar mejoras en la red como la disponibilidad, capacidad y aumento de potencia instantánea.

Tecnología	Wh/Kg	Wh/litro	Potencia W/kg	Tiempo medio de descarga	Eficiencia
Plomo-Ácido	30-40	60-75	180	10 sec- varias horas	50-92%
Ion-Li	100-265	250-730	250-350	15 min- varias horas	80-90%
Niquel metal hidruro	60-120	140-300	250-1000	Autodescarga de 30% / mes	66%
Sulfuro de Sodio	100	150	200	8 horas	70%
Redox	~ 40	--	80-150	--	80%
Supercondensadores	3-5	--	6000	Autodescargas Hasta 5% / día Hasta 14%/ mes	95%
Celdas de Combustible	121	16	18	--	80%
SMES	< 1	--	1000	Menos de 100ms	90%
Volantes de inercia FES	11 - 50	--	180-1800	20% a 50% en 2 horas	90-95%
CAES	10 - 30	--	--	--	> 60%
PHS	0.3	--	--	--	70-85%
TES	--	177	--	--	> 60%

Figura 3. Comparación de tecnologías para sistemas de almacenamiento de energía

Fuente: extraído de Guacaneme, Javier a, Velasco, David, & Trujillo, César I. (2014). revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *información tecnológica*, 25(2), 175-188. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642014000200020>.

4.3.3 Gestión y control. Los sistemas de gestión y control bien configurados en una microrred permiten asegurar la calidad y confiabilidad del sistema, la disponibilidad de la potencia necesaria cuando las cargas la requieran y la autonomía necesaria para cuando la red principal por algún motivo esté ausente, por lo cual se deben elegir los equipos adecuados y las

protecciones necesarias para asegurar la robustez de la red brindando un servicio eléctrico adecuado.

4.4 Modelos IEEE 5 y IEEE 9

Para caracterizar el presente estudio y poder arrojar resultados favorables al analizar el comportamiento del sistema se pretende tomar como punto base de análisis los sistemas de potencia establecidos por el estándar IEEE de 5 nodos y el estándar IEEE de 9 nodos.

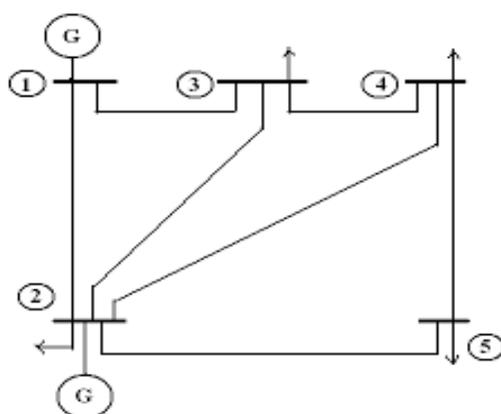


Figura 4. Esquema general de un modelo IEEE 5

Fuente: extraído de Guacaneme, Javier a, Velasco, David, & Trujillo, César I. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *información tecnológica*, 25(2), 175-188. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642014000200020>.

Nota: El esquema general de un modelo IEEE de 5 nodos consta de 2 unidades de generación, 5 barras y 4 cargas.

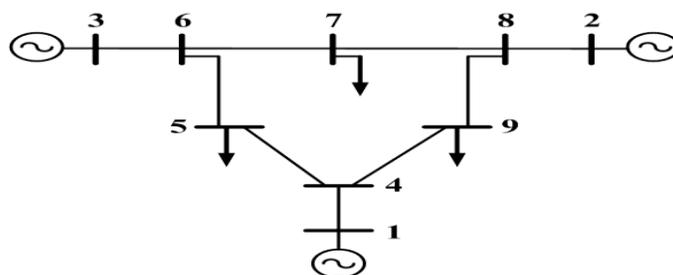


Figura 5. Esquema general de un modelo IEEE 9

Fuente: extraído de Yue Song. (2015). Small-disturbance angle stability analysis of microgrids: A graph theory viewpoint. https://www.researchgate.net/publication/303381482_Small-disturbance_angle_stability_analysis_of_microgrids_A_graph_theory_viewpoint

Nota: El esquema general de un modelo IEEE de 9 nodos consta de 3 unidades de generación, 9 barras, 6 líneas y 3 cargas.

4.5 Normatividad aplicada a sistemas de generación en Colombia.

La implementación de proyectos provenientes de FNCE-Fuentes No Convencionales de Energía tiene a su disposición una normatividad vigente que define y rige la instalación de estos, además de ciertos beneficios para incentivar la construcción y expansión de generación de energía en aquellos lugares de difícil acceso como también el reemplazo de aquellos generadores de energía provenientes de combustibles con efecto invernadero.

El ministerio de minas y energía y la CREG (comisión de regulación de energía y gas) son quienes regulan las actividades minero energéticas del país, más concretamente la resolución 030 de 2018 de la CREG es la que sanciona y regula toda actividad a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional.

El proyecto presente se enmarca dentro de los AGPE-auto generadores a pequeña escala que es cualquier persona o empresa que decide producir energía eléctrica ya sea para atender sus propias necesidades o ser vendida al sistema interconectado nacional-SIN, el tamaño de la instalación de generación debe ser inferior a 1.000kW(1MW).

Las AGPE se dividen en dos grupos, aquellos con capacidad inferior a 100kW y los que se encuentran entre 100KW y 1.000kW, el prototipo a instalar debe construirse en base a una capacidad inferior a los 100kW.

La ley 1715 de 2014 tiene como propósito establecer el marco legal y los instrumentos para el aprovechamiento de las FNCE-Fuentes No Convencionales de Energía, tales como la solar y eólica, para su integración en el SIN-Sistema Interconectado Nacional y su participación en las Zonas no Interconectadas-ZNI.

La ley 1715 de 2014 presenta a una serie de incentivos para beneficiar las instalaciones que provengan de fuentes no convencionales de energía tanto para personas naturales como jurídicas, nuestro proyecto el cual beneficia a la institución universitaria pascual bravo obtiene el incentivo de exclusión de bienes y servicios de IVA por la compra de estos, como también la exención del

pago de derechos y gravámenes arancelarios en la importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos que se utilicen en la instalación siempre y cuando el uso exclusivo se de en el proyecto con FCNE(Fuentes No Convencionales de Energía).

También en la ley 1955 de 2019 del plan nacional de desarrollo se indica que a partir del 25 de mayo de 2019 se encuentran exentos de IVA los siguientes elementos empleados en proyectos de energía solar: inversores, módulos fotovoltaicos o paneles solares y controladores de carga, siendo un proceso directo en el cual no se necesita ningún trámite para la extensión del IVA en dichos equipos.

Los beneficios en los que se verán envueltos aquellos quienes deseen implementar un proyecto de energía provenientes de fuentes no convencionales como la solar y eólica son:

Disminución en los gastos de obtención de energía: Aunque la instalación inicial supone una inversión un poco alta, la obtención de energía se traduce en costo cero debido a que los recursos para producirla provienen de fuentes naturales como el sol o el viento, por los cuales no tenemos que pagar como el combustible fósil para la utilización en los generadores que funcionan por medio de estos además de ser ruidosos y contaminantes.

Ahorro en la factura eléctrica: Para aquellos quienes estén conectados a un sistema de red eléctrica al generar su propia energía el consumo de la red se disminuye. Mayor oferta de energía: Los excedentes de energía que se produzcan podrán ser vendidos al sistema y así aportar a la demanda del sistema interconectado nacional-SIN.

Los sistemas eléctricos en Colombia se rigen bajo el conjunto de normas RETIE para baja tensión, adicionalmente se debe cumplir con lo dispuesto en las normas NTC 2050 y para el sistema de iluminación en el sendero peatonal el cual es el propósito general de la microrred a instalar en la institución universitaria pascual bravo es aplicable bajo la norma RETILAP.

la selección del conductor para la cual está centrado el actual proyecto se apoya en la tabla 310.16 en el conjunto de normas de la NTC 2050.

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

El tipo de metodología a usar será el método inductivo y experimental ya que el proyecto al ser un emulador el cual debe ser estudiado para su viabilidad debe buscar obtener el mejor rendimiento posible, para ello se reunirán distintas variables; se realizará una entrevista recopilando la información acerca de las necesidades energéticas de la universidad específicamente en el sendero peatonal, se analizarán las condiciones climáticas y geográficas de las cuales dispone la zona, se reunirá la cantidad de datos de los cuales se dispone para el diseño del simulador, se tendrá en cuenta la normatividad y beneficios que otorga el estado colombiano entre otras variables que puedan afectar el cálculo en el rendimiento del diseño. Con los datos observados, analizados y clasificados se llegará a una hipótesis que como resultado arrojará el mejor diseño de simulador posible.

5.2 Método

Visita técnica y entrevista al encargado de la zona de instalación. con previa autorización por parte de la institución universitaria pascual bravo se procederá a visitar el lugar de instalación, observar y recopilar datos; se realizará una entrevista al encargado de la red de distribución de la institución para verificar el estado en el que se encuentra el sendero y si hay instalaciones de iluminación existentes en la zona.

Recopilación y análisis de datos sobre la entrevista e información sobre el terreno y la zona de instalación. Se filtra los datos obtenidos a través de la entrevista y observación para ser tabulados y organizados para su posterior análisis.

Análisis e identificación de las necesidades de la universidad para caracterizar y diseñar la emulación. Luego de recopilar los datos básicos de instalación en la zona del sendero peatonal en dirección al cerro el volador se investigan las necesidades lumínicas de la institución con

respecto al sendero peatonal con base en la normativa vigente en específico tomando como base el RETILAP.

Diseño del prototipo a montar en emulación según las necesidades y características del terreno y la propiedad. Con la recolección de datos necesarios previa entrevistas e investigación se procede a tabular y filtrar los datos para el diseño de la microrred.

Listar la cantidad de materiales y recursos para la construcción del diseño según el presupuesto. Con los datos obtenidos a través de diseño fijado se procede a listar la cantidad y el tipo de cableado necesario en el proyecto con base en las normas establecidas por la NTC 2050.

Inicio del diseño del prototipo a emular. se procede a realizar el diseño de la microrred y su diagrama unifilar con base en los datos anteriormente obtenidos.

Montaje y puesta en marcha de la emulación. Con base en el diseño obtenido se realizan los cálculos correspondientes a través del software Microsoft Excel en base a la normatividad establecida dando cumplimiento a los límites establecidos para evitar problemas en la red y sobrecalentamiento en los conductores.

Análisis y recolección de datos de funcionamiento del prototipo en el emulador. A partir de los cálculos obtenidos se procede al análisis para la viabilidad del proyecto y su cumplimiento ante los estándares y normas para el correcto funcionamiento.

Ajustes al emulador en caso de falla o mejoramiento. Se procede a realizar ensayos a modo prueba y error para verificar la solidez del diseño, si dado el caso resultan fallas en las pruebas se identificarán dichas fallas para corregirlas y asegurar la calidad del proyecto.

Elaborar reporte final de funcionamiento del prototipo en el emulador. Luego de asegurar la calidad, seguridad y confiabilidad del diseño se realizará el debido informe con los datos y esquemas necesarios para la puesta en marcha del proyecto.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1 Fuentes primarias. Se tomarán como fuentes primarias fotografías del área de instalación; entrevistas a los encargados del área, normatividad la cual aplique al proyecto y también de existir se tomarán informes y memorias de cálculos de la red existente, Además de información proveniente de revistas científicas con datos inéditos y de primera mano.

5.3.2 Fuentes secundarias. Como fuentes secundarias se recurrirá a libros con información acerca de generación y microrredes, documentos técnicos, de investigación y revistas científicas con relación al proyecto.

6. Resultados del proyecto

6.1 Visita técnica y entrevista.

Visita técnica y entrevista al encargado de la zona de instalación. con previa autorización por parte de la institución universitaria pascual bravo se procederá a visitar el lugar de instalación, observar y recopilar datos; se realizará una entrevista a el encargado de la red de distribución de la institución para verificar el estado en el que se encuentra el sendero y si hay instalaciones de iluminación existentes en la zona.

La visita técnica se pudo realizar, con dicha autorización otorgada por el campus universitario, en donde se obtuvieron datos mediante una reunión programada con personal que tenía un mejor conocimiento de las luminarias, y en la cual se expresó de cómo se encontraba la red, a su vez brindar un direccionamiento, de donde y como era el estado de dichas luminarias, y teniendo en cuenta la información se reprogramo una visita técnica en la cual se recopilaron datos de cómo se encontraba la red, tanto en las distancias entre nodos, ductos, cableado entre otros.



Figura 6. Imágenes de visita técnica.

Fuente: Foto de Juan Sebastian Gómez O.

Nota: Estas hacen parte de la recolección de datos, los cuales fueron evidenciados a partir de la visita.

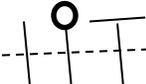
Recopilación y análisis de datos sobre la entrevista e información sobre el terreno y la zona de instalación. Se filtra los datos obtenidos a través de la entrevista y observación para ser tabulados y organizados para su posterior análisis.

En la recopilación de los datos se obtuvieron las distancias entre nodos, así como también los diámetros de tuberías actuales, y las características de la microrred para la cual se levantó un plano del área en el cual se expresa las distancias y cantidad de conductores y un bosquejo de ubicación de las mismas especificando cuáles serán intervenidas.

6.1.2 Tabla de convenciones, unifilar y plano de la microrred. Para la realización de las convenciones se tiene en cuenta que los planos deben ser diseñados de manera que sea entendibles para las personas competentes a la hora de interpretar el dibujo por lo cual se realizó dichas convenciones.

Para el levantamiento del plano se tuvo en cuenta las distancias de los conductores, como también las conexiones de los nodos y su ubicación. Para lo cual también se realiza un plano de ubicación en 2 dimensiones (2D) para una mejor visualización del área y elementos que la conforman.

Tabla 1.
Convenciones

Simbología	Nombre
	Poste metálico para luminaria
	Caja de paso y de conexión de nodos
	Conductores eléctricos
	Ductos

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez
Nota: tabla de convenciones de las figuras de diseño

Adjunto se deja el diagrama unifilar de la microrred para la debida interpretación por parte de los encargados de la instalación o para la comprensión del personal de mantenimiento de la institución universitaria pascual bravo.

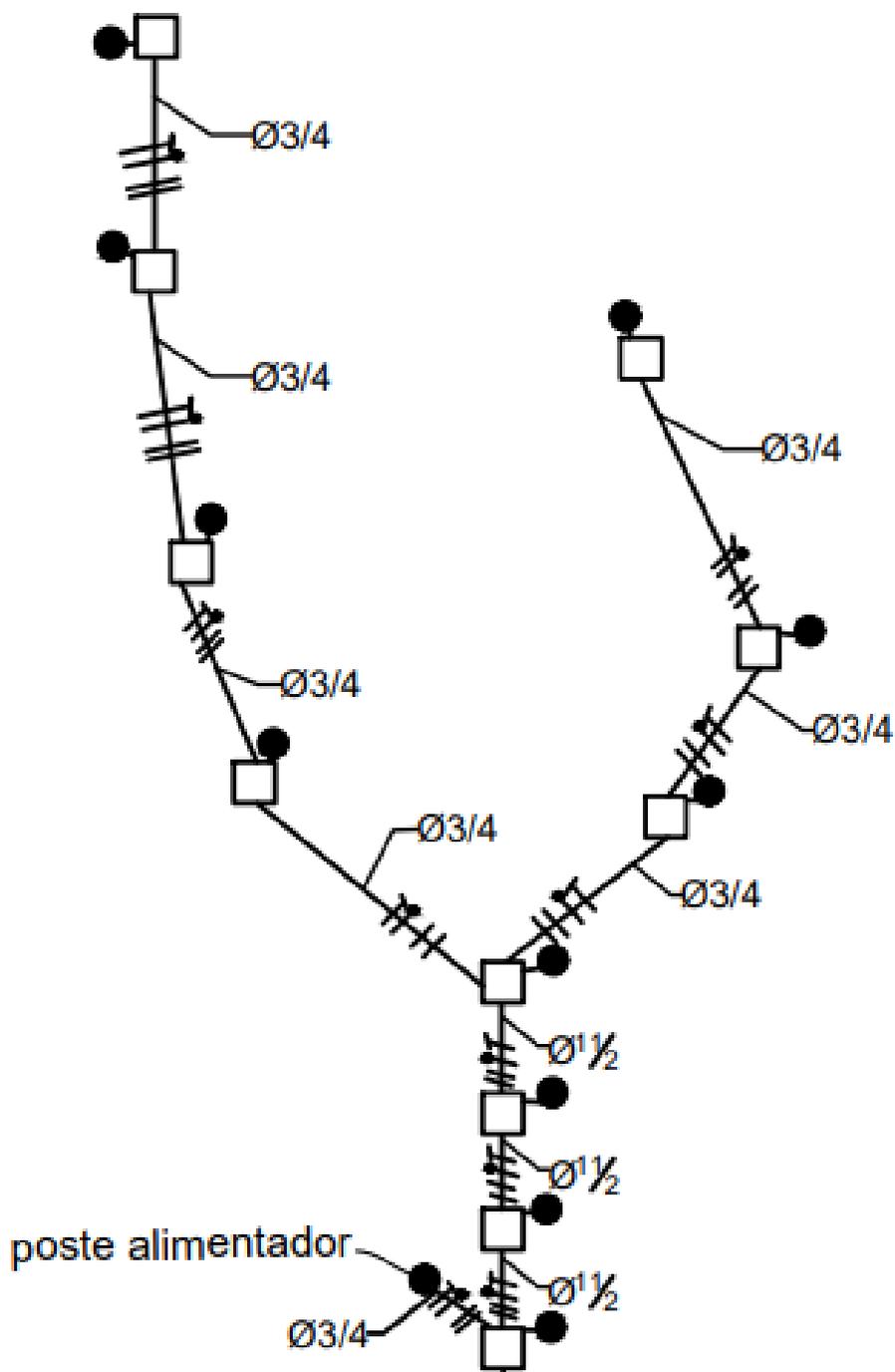


Figura 7. Unifilar de la microrred

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: se deja dibujo de la instalación de la microrred para interpretación del circuito.

Adjunto se deja el plano de distribución de las luminarias ubicadas en el sendero peatonal de la institución universitaria pascual bravo con sus respectivas distancias entre carga y carga

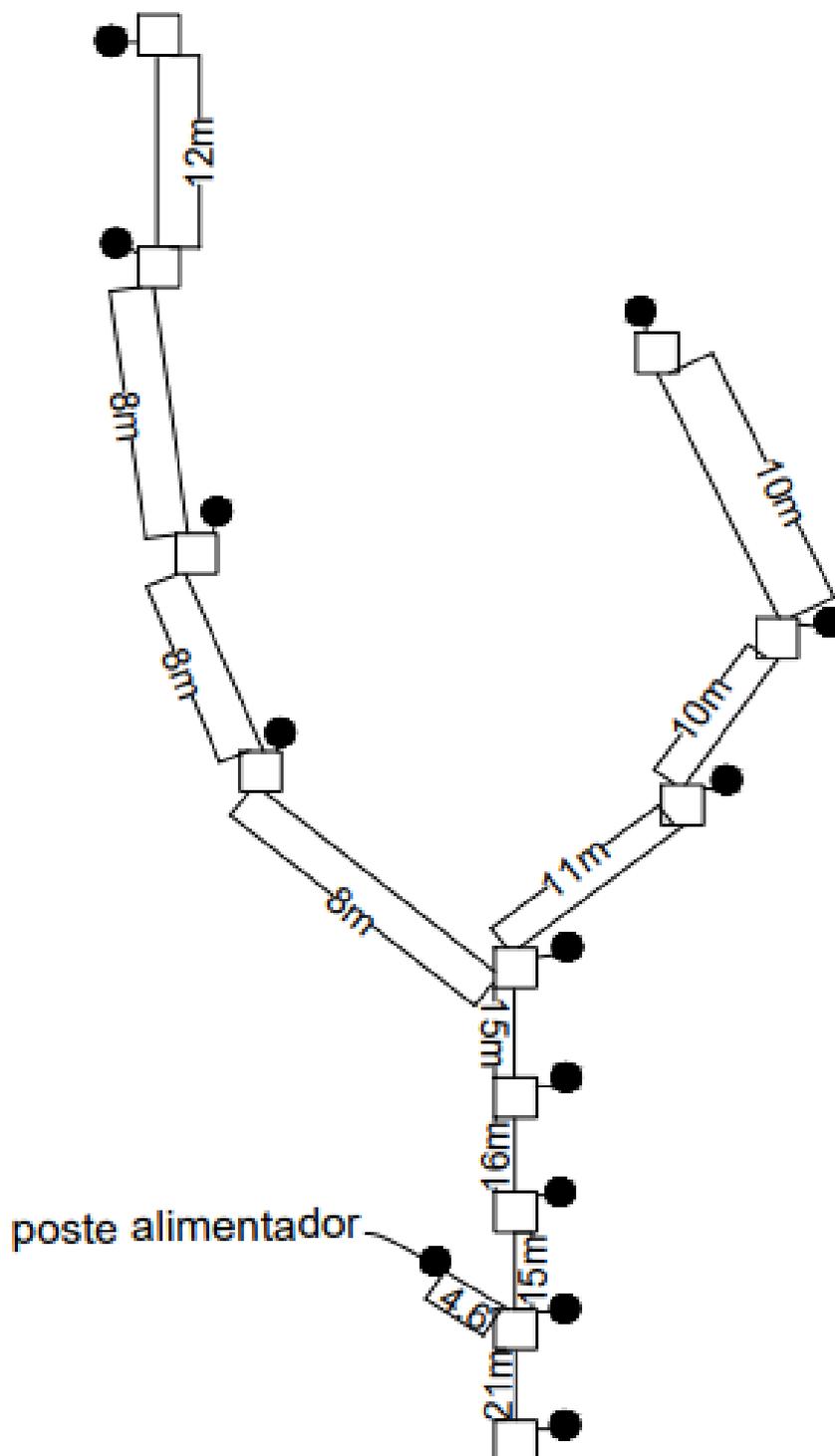


Figura 8. Plano de distribución de luminarias

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: diseño donde se deja expresado las distancias nodales y de luminarias.

El Siguiente es un diseño elaborado en 2D como complemento al plano y diagrama unifilar anterior para una mejor comprensión por parte de quien requiera acceso a la información del circuito.

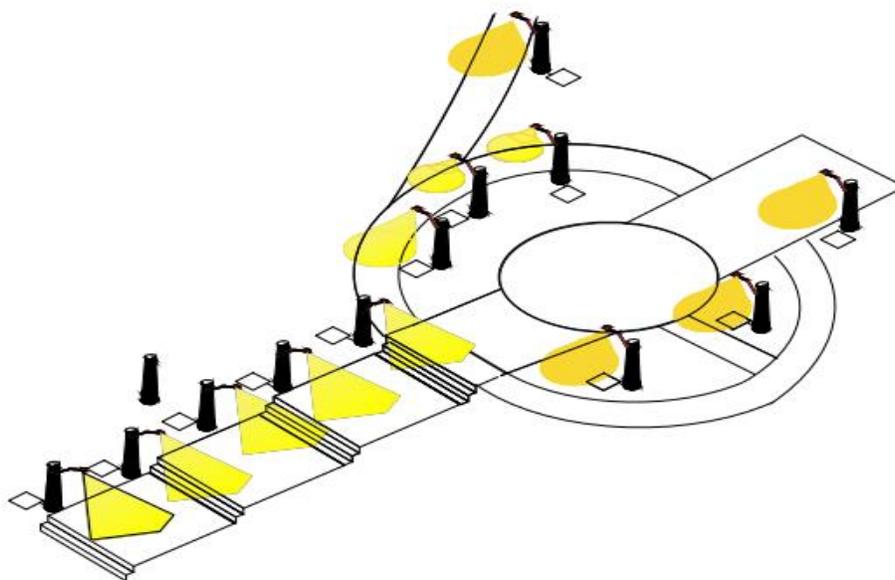


Figura 9. Diseño de la distribución luminarias en 2d

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: se realizó diseño donde se puede visualizar la manera en que van a estar distribuidas las luminarias sobre el sendero peatonal del campus universitario-

6.1.3 Características de la red. Se pudo obtener datos de la micro red tales como datos de placa de luminarias, voltaje nominal, corriente, potencia eléctrica y fuentes de voltaje, para la realización de cálculos de los conductores y así hallar también el diámetro de la tubería correspondiente para la canalización de los conductores dando cumplimiento a la normatividad colombiana.

Luminarias: instaladas en el campus universitario Pascual Bravo y para servicio peatonal cuyas características se dejarán expresadas en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Datos de luminaria

Tipo luminaria	Referencia luminaria	Potencia(w)	Voltaje(V)	Corriente(I)
led	OP-STL35H	35[W]	24 [VDC]	1.62 [A]

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: como se expresó en el párrafo anterior esta hace referencia a los datos de placa de la luminaria.



Figura 10. Luminaria de microrred

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: ilustración fotográfica del tipo de luminarias que se instalarán en proyecto.

Fuentes de voltaje: se pudo determinar que para la implementación y uso de luminarias es necesario complementarlas con las fuentes de voltaje y corriente la cual se dejara in formación de la misma a continuación.



Fuente suicheada 24V 2A 48W

Ref: S-48-24

Fuente suicheada de 24V 2A.

Descripción:

Fuente suicheada de 24V, con protección contra: corto circuito, sobrecarga, sobrevoltaje, sobre-temperatura.

Características:

- Voltaje de salida: 24V
- Corriente de salida: 2A
- Potencia: 48W
- Dimensiones: 11cm x 7,7cm x 3.5cm

Figura 11. Imagen de la fuente de tensión

Fuente: Imagen 5 de I+D electrónica

Nota: la imagen ilustra el tipo de fuente que se utilizó

Se determinará las variables, datos y recursos necesarios para la configuración en la simulación y posterior emulación del cableado en la microrred del sistema de iluminación del sendero peatonal basados en el modelo IEEE de 5 y 9 nodos. Se pudo determinar las variables correspondientes, con las cuales se hallarán los parámetros de la microrred y a su vez su óptimo funcionamiento teniendo en cuenta la normatividad establecida por la NTC 2050.

6.1.4 Corriente en el conductor: teniendo en cuenta la normatividad y según las tablas que están estipuladas en la NTC 2050 que nos indica que para la selección de un conductor se debe tener presente la tabla 310.16 de la misma norma la cual especifica la cantidad de corriente que puede transcurrir por un conductor.

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO 0 ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp. ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60		0,58	0,71		0,58	0,71	56-60
61-70		0,33	0,58		0,33	0,58	61-70
71-80			0,41			0,41	71-80

Figura 12. Tabla 310.16-NTC 2050

Fuente: Norma NTC 2050.

Nota: Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2000V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Se expresa que para dicho diseño se tuvo presente que la norma bajo sus recomendaciones deja que se debe trabajar con conductores no menores a 12 AWG a continuación se pone a disposición la tabla donde se analizaran y evidenciaran lo expresado anteriormente.

NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES POR DUCTO									
TIPO	CALIBRE	TAMAÑO DEL DUCTO (pulgadas / milímetros)							
		AWG	1/2 (16)	3/4 (21)	1 (27)	1 1/4 (35)	1 1/2 (41)	2 (53)	2 1/2 (63)
THHN THWN	14	16	27	44	73	96	150	225	338
	12	11	19	32	53	70	109	164	246
	10	7	12	20	33	44	69	103	155
	8	4	7	12	19	25	40	59	89
	6	3	5	8	14	18	28	43	64
	4	1	3	5	8	11	17	26	39
	2	1	1	3	6	8	12	19	28
	1/0	1	1	2	4	5	8	11	17
	2/0	1	1	1	2	3	5	8	12
	3/0	0	1	1	2	3	5	8	12
	4/0	0	1	1	1	3	4	6	10
	14	11	18	31	51	67	105	157	235
	12	8	14	24	39	51	80	120	181
	10	6	10	18	29	38	60	89	135
TW THW	8	3	6	10	16	21	33	50	75
	6	1	3	6	9	13	20	30	45
	4	1	2	4	7	9	15	22	33
	2	1	1	3	5	7	11	16	24
	1/0	1	1	1	3	4	6	10	14
	2/0	0	1	1	2	3	5	8	12
	3/0	0	1	1	1	3	4	7	10
	4/0	0	1	1	1	2	4	6	9

Figura 13. Tabla de ductos PVC eléctricos

Fuente: diseño tabla NTC 2050

Nota: es donde se seleccionará el tipo de tubería correspondiente para la canalización de los conductores eléctricos

6.1.5 Caída de tensión. esta se da debido a la trayectoria del conductor, el cual presenta una pérdida de potencia. Para una corrección se tiene en cuenta la formula.

6.1.6 Voltaje nominal. Para esta microrred se estipulo un voltaje de 120 volts AC los cuales alimentaron las fuentes de voltajes que a su vez convierte ese voltaje en 24VDC.

6.1.7 Carga total. La carga total está dada en base a la suma de luminarias para la cual dichas luminarias tienen una potencia de 35watts por cada unidad, y el voltaje.

6.1.8 Corriente total. Esta dependerá de la cantidad de carga que demande la microrred.

Se adjuntará el análisis, resultados, e información de la investigación con un diagrama unifilar detallado de la microrred para demostrar la viabilidad del proyecto para su posterior implementación.

Se entrega diagrama unifilar basado en el diseño y teniendo los parámetros de la microrred

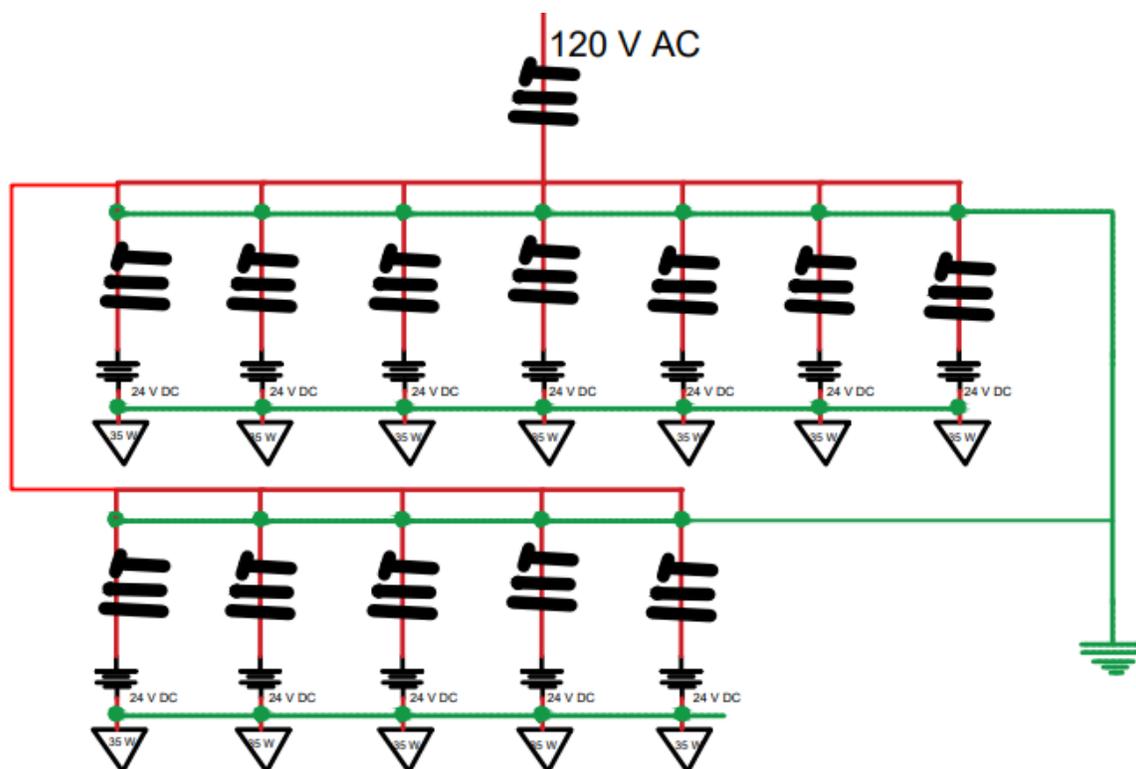


Figura 14. Diagrama unifilar

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: diagrama del circuito el cual expresa las cargas, puesta a tierra, fuente de voltaje, conductores y voltaje nominal.

6.2 Cálculo de las variables de la red

Se suministrará los cálculos y análisis de variables correspondientes en torno a el cableado necesario en la simulación de una microrred en AC en base a los estándares IEEE de 5 y 9 nodos a través del software de PowerFactoryDigsilent con base en las normas técnicas que rigen en Colombia correspondientes a instalaciones eléctricas para proporcionar energía a las luminarias de un sendero peatonal ubicado en dirección al cerro el volador en la institución universitaria

pascual bravo. luego se demostrará su viabilidad para la correcta ejecución e instalación de dicha microrred en AC y se dejarán pruebas y herramientas para objeto de estudio y su utilización por parte de la comunidad estudiantil y docente.

Para tales cálculos se realizaron las siguientes operaciones matemáticas teniendo como base los parámetros de características de la microrred, obtenidos en la visita técnica y con los cuales se obtuvieron las variables que hacían falta para el desarrollo de la microrred. Se expresará en la siguiente tabla la cual contendrá los cálculos y a su vez el procedimiento matemático.

Para hallar la corriente se utilizó la siguiente expresión

$$\frac{P}{V} = I$$

Ecuación 1

P total = a p * cantidad de luminarias

Donde:

P = Potencia de las luminarias

V = Voltaje nominal

I = Corriente

Para establecer la resistencia del circuito se tuvo en cuenta la siguiente expresión

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{ó} \quad \frac{V^2}{P}$$

Ecuación 2

Donde:

R = a la resistencia dadas en [Ω]

Para realizar el cálculo de diámetro del conductor se estipulo según la norma que solo puede haber una caída de tensión del 3% y teniendo en cuenta que la resistividad del cobre es de 0.01786 se realizó el cálculo partiendo de la siguiente ecuación.

$$\text{caida de voltaje permitida} = V * \% \text{regulacion permitido}$$

$$secc = p * \frac{2 * L}{\text{caida de voltaje permitida}} * I$$

Ecuación 3

Donde:

$secc$ = sección del conductor dado en mm²

p = resistividad del conductor

$2 * L$ = longitud de la línea ida y regreso

La longitud del cable se obtuvo a partir de la recolección de datos que se realizó mediante la visita técnica en la cual arrojo un dato de 85 metros desde el punto de conexión hasta la luminaria más lejana.

En base a las ecuaciones e información anteriormente expresada se realizó tabla donde a teniendo en cuenta las operaciones matemáticas y validación por medio de un simulador se corroboraron los datos. Dicha tabla será presentada a continuación.

Tabla 3.

Variables de la microrred

Datos de la visita tecnica para viabilidad y calculos de cableado												
Voltaje nominal [V]	Potencia por luminaria[W]	Corriente por luminaria[A]	Cantidad luminarias	Corriente total [A]	Potencia total [W]	Resistencia por luminaria [Ω]	Resistencia total [Ω]	Resistividad del cobre[p]	Caída de tensión permitida	Longitud del cable en [m]	sección transversal cable mm ²	
120	30	0,25	12	3	360	480	40	0,01786	3,6	85	2,53	

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: tabla diseñada con el fin de hallar las variables faltantes de la microrred

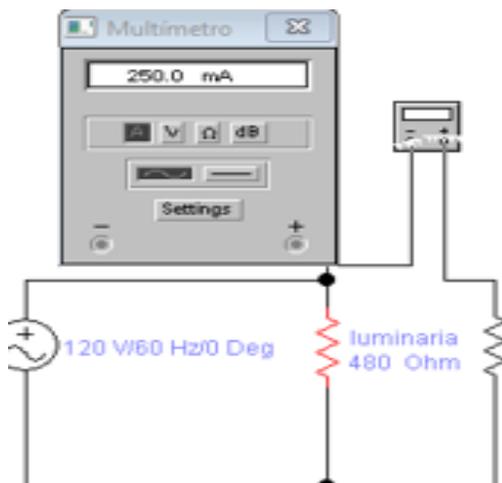


Figura 15. Registro de corriente simulador electronicsworkbench

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: se realizó una corroboración de la variable corriente por luminaria y se entrega registro fotográfico.

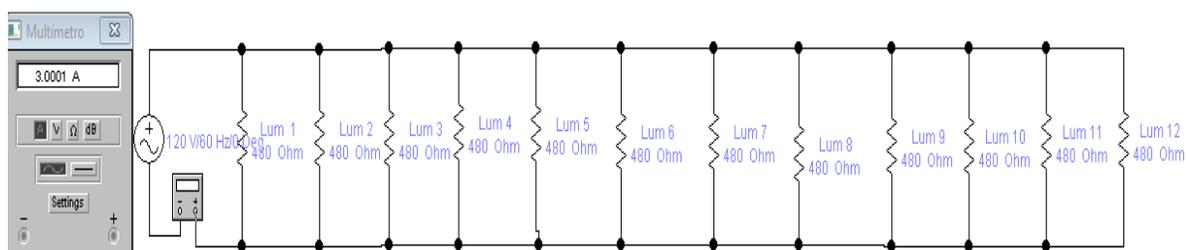


Figura 16. Registro corriente total desde simulador electronicsworkbench

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: se tomo registro de en la anterior figura el resultado hallado y corroborado en cálculos realizados en la tabla 3.

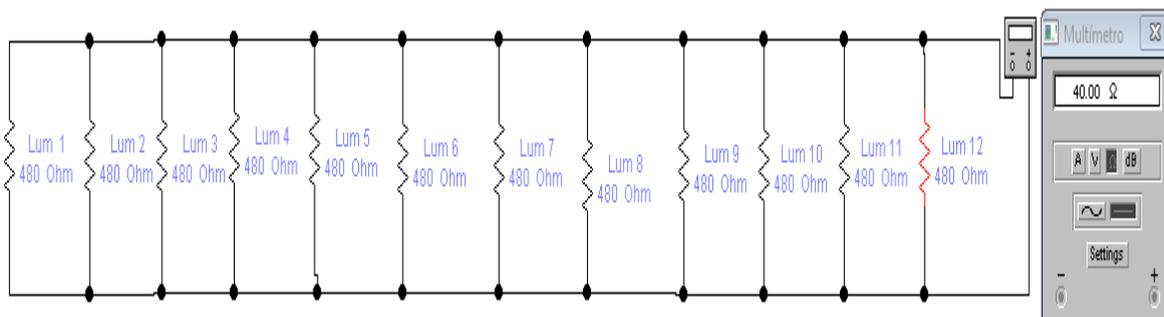


Figura 17. Registro variable resistencia desde simulador electronicsworkbench

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: se realizó confrontación con los datos de variables halladas en la tabla 3

Cabe informar que gracias a los datos adquiridos en la tabla 2, la cual hallamos un conductor de 2.53 mm² y para lo cual nos centramos en la imagen 6 tabla de conductores, con la que pudimos determinar que el calibre del conductor a utilizar y corroborar la viabilidad del cableado para la microrred obedece al calibre #12 AWG y que para la tierra el conductor no deberá ser menor al calibre de los conductores y que en caso de que los conductores sean menores a 2 se realice la instalación mínimo de un #8 para la puesta a tierra.

Para constancia de lo expresado se adjunta la siguiente imagen tomada de la NTC 2050.

Sección transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo	Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra	
	Cobre	Cobre
2 o menor	8.36	8
1 o 1/0	13.29	6
2/0 o 3/0	21.14	4
4/0 hasta 350 kcmil	33.62	2
400 hasta 600 kcmil	53.50	1/0
650 hasta 1100 kcmil	67.44	2/0
1200 kcmil	85.02	3/0

Figura 18. Tabla de selección conductores

Fuente: tabla 250-94 NTC 2050

Nota: con base a los cálculos hallados se tiene en cuenta para la instalación su puesta a tierra teniendo como referencia las normas técnicas

6.2.1 Demostración en software PowerFactoryDigsilent. A continuación, se demuestra la viabilidad de la microrred a través del software PowerFactoryDigsilent. Para la simulación de la microrred se tuvo como base en el diseño el estándar IEEE de 5 y 9 nodos.

El siguiente es el diseño obtenido mediante la recolección de datos donde nos muestra la vista sin flujo de cargas con el fin de visualizar la ubicación y asignación a la red de cada elemento.

El software como tal nos brinda las herramientas adecuadas para la representación de cada elemento en la red, para su identificación se deja a continuación la representación y el uso de cada elemento representados en la Figura 19.

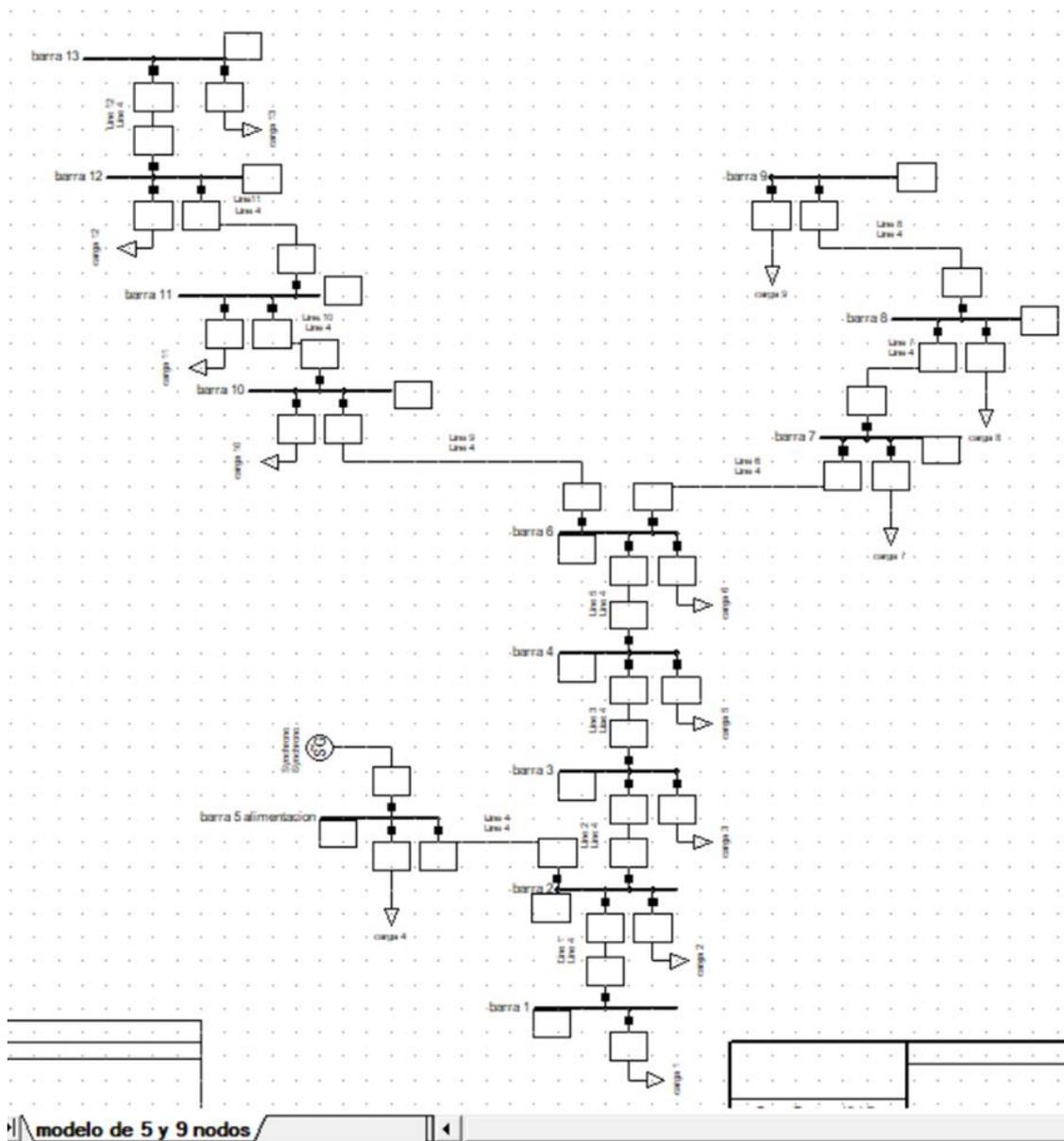


Figura 19 Diseño de simulador microrred 5 y 9 nodos

Fuente: Diseño Giovanni Osorio Ruiz

Nota: Vista sin flujo de carga

Para realizar el diseño del simulador primero se recolectaron los datos calculados y parámetros para las barras, cargas, líneas y su alimentación que a continuación se demuestran.

Las barras se dan mediante la siguiente representación en el software en la figura 20 a continuación.



Figura 20 Representación de las barras.

Fuente: PowerFactoryDigsilent

Nota: el total de barras usadas en el diseño fueron 13.

Para dichas barras se tomaron como parámetros el voltaje nominal visto en la figura 21.

Figura 21 Parámetros de las barras.

Fuente: PowerFactory Digsilent

Cada línea se parametrizo con los datos de acuerdo a su distancia en metros, la resistencia del cable y reactancia que en este caso es por tubería, frecuencia del sistema, tipo de sistema (monofásico) y capacidad de transporte de corriente.

Las líneas se dan mediante la siguiente representación en el software se visualiza en la figura 22 a continuación.

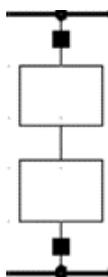


Figura 22 Representación de la línea.

Fuente: PowerFactoryDigsilent

Nota: el total de líneas (cable, conductor) usadas fue de 12.

Los parámetros utilizados en las líneas se demuestran en la figura 23 y figura 24:

Basic Data	
Load Flow	
VDE/IEC Short-Circuit	
Complete Short-Circuit	
ANSI Short-Circuit	
IEC 61363	
DC Short-Circuit	
RMS-Simulation	
EMT-Simulation	
Harmonics/Power Quality	
Optimal Power Flow	
Reliability	
Generation Adequacy	
Tie Open Point Opt.	
Cable Sizing	
Description	

Name	Line 1	
Type	Equipment Type Library\Line 4	
Terminal i	modelo de 5 y 9 nodos\barra 1\Cub_1	barra 1
Terminal j	modelo de 5 y 9 nodos\barra 2\Cub_3	barra 2
Zone	Terminal i	...
Area	Terminal i	...
<input type="checkbox"/> Out of Service		
Number of parallel Lines	1	
Parameters		
Thermal Rating	...	
Length of Line	0,021 km	
Derating Factor	1.	
Laying	Ground	
Type of Line	Cable	
Line Model		
<input checked="" type="radio"/> Lumped Parameter (PI)		
<input type="radio"/> Distributed Parameter		
Sections/Line Loads		

Resulting Values	
Rated Current (act.)	0,02 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0,1378101 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	1,545563 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0,13776 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0,003717 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	
Zero Seq. Reactance, X0	
Earth-Fault Current, Ice	
Earth Factor, Magnitude	
Earth Factor, Angle	

Figura 23 Parámetros de las líneas.

Fuente: PowerFactoryDigsilent

En la figura 23 se resalta la distancia de línea como parámetro a ajustar, siendo establecido en 21 metros para el tramo total de cable en el sector del sendero que se está interviniendo para la implementación del emulador.

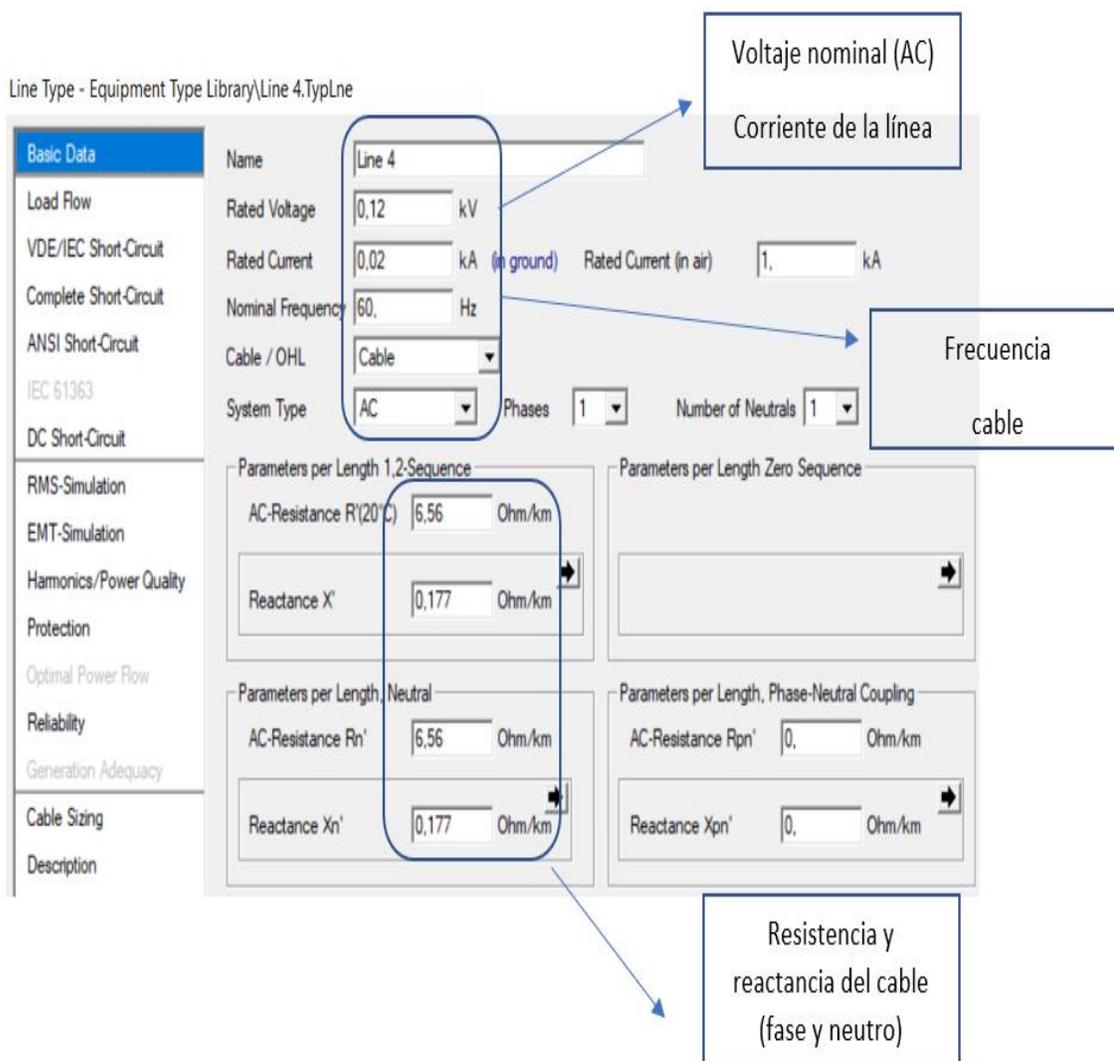


Figura 24 Parámetros de las líneas.

Fuente: PowerFactory Digsilent

Para la carga se tomó la potencia activa de las luminarias que están actualmente instaladas en el circuito de la microrred de la institución que se está analizando.

La representación en el software de las cargas se da mediante la figura 25:

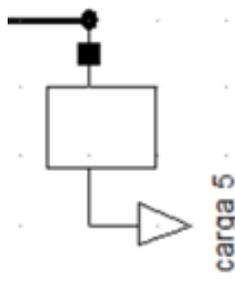


Figura 25 Representación de la luminaria (Carga).

Fuente: PowerFactory Digsilent

Nota: el total de cargas utilizadas fue de 13 unidades

los parámetros utilizados en las cargas se demuestran a continuación en la figura 26:

General Load - modelo de 5 y 9 nodos\carga 3.ElmLod

Operating Point		Actual Values
Active Power	0,000035 MW	0,000035 MW
Reactive Power	0, Mvar	0, Mvar
Voltage	1, p.u.	
Scaling Factor	1,	1,
<input checked="" type="checkbox"/> Adjusted by Load Scaling	Zone Scaling Factor:	1,

Figura 26 Parámetros de las cargas

Fuente: PowerFactoryDigsilent

Se tomo como una máquina de referencia y una capacidad de generación de 1 megavatio, dato que se tomó solo para la simulación del proyecto, voltaje nominal de la red, factor de potencia equilibrado.

La representación de la generación se da mediante la figura 27.

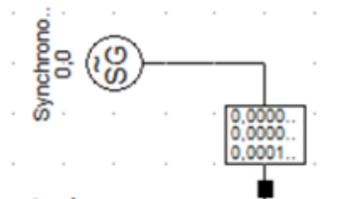


Figura 27 Fuente, Generador o alimentación.

Fuente: PowerFactory Digsilent

Nota: el total de cargas utilizadas fue de 13 unidades

Los parámetros a utilizar en la generación se pueden visualizar mediante la figura 28 y figura 29 a continuación.

Synchronous Machine - modelo de 5 y 9 nodos\Synchronous Machine.ElmSym

General | Advanced | Automatic Dispatch |

Spinning if circuit-breaker is open

Reference Machine

Corresponding Bus Type: SL

Mode of Local Voltage Controller

Power Factor

Voltage

Máquina de referencia

External Secondary Controller

External Station Controller

Dispatch

Input Mode: Default

Active Power: 1,0000 MW

Reactive Power: 1,0000 Mvar

Voltage: 1,0000 p.u.

Angle: 0,0000 deg

Prim. Frequency Bias: 0,0000 MW/Hz

Capacity Curve

qmin: -1.00, P, qmax: 1.00, prat: 0.95, pmiq: 1.00, -1/xd

Capacidad de generación, potencia activa.

Reactive Power Operational Limits

Capacity Curve

Use limits specified in type

Min. -1,00 p.u. -2,00 Mvar Scaling Factor (min.) 100,00 %

Max. 1,00 p.u. 2,00 Mvar Scaling Factor (max.) 100,00 %

Active Power Operational Limits

Min. 0,00 MW

Max. 9999,00 MW Pn 1,9 MW

Active Power: Rating

Max. 1,9000 MW Rating Factor 1,0000 Pn 1,9 MW

Figura 28 Parámetros del generador.

Fuente: PowerFactoryDigsilent

Se debe seleccionar la capacidad de generación que se desea para el circuito que ha de ser simulado y determinar que se trata de la máquina de referencia.

En la figura 29 se ve que es necesario ajustar la potencia aparente, el voltaje nominal y el factor de potencia del circuito eléctrico a simular.

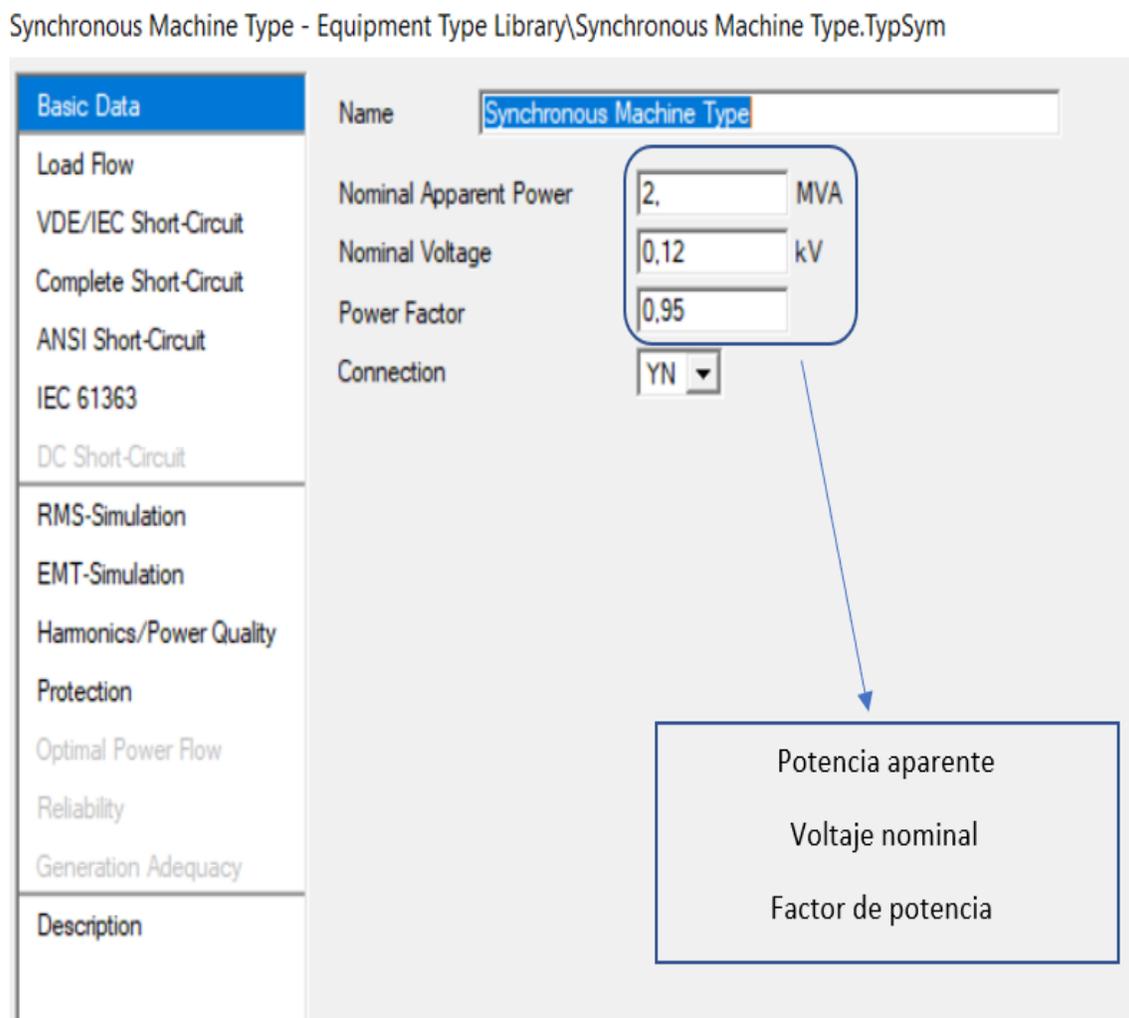


Figura 29 Parámetros del generador.

Fuente: PowerFactoryDigsilent

6.2.2 Conclusión según resultados programa de simulación. Los colores representados en la figura 30 nos dan los valores en P.U (en por unidad) donde el programa nos define los colores donde 1 en P.U (Verde) es el valor más aceptable ósea que el rango de voltaje es bajo y el azul que es el que más predomina en el simulador presentado y que tiene un significado de 0.9 P.U. en la escala de referencia de carga, el cual también cumple un buen flujo de carga del sistema, por consiguiente el resultado en la simulación permite ver que la viabilidad del proyecto es factible.

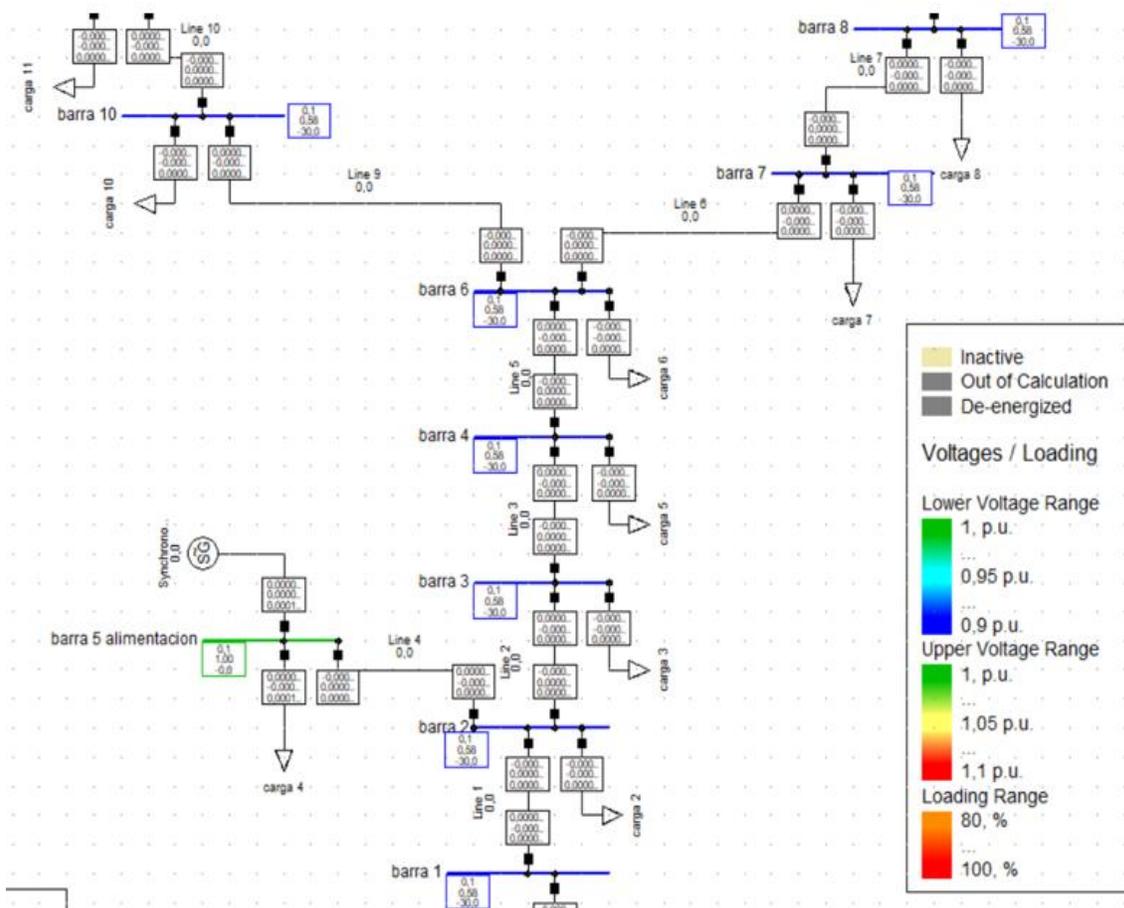


Figura 30 Diseño con flujo de cargas activado.

Fuente: PowerFactoryDigsilent

Nota: el flujo de cargas corriendo nos muestra visualmente que el diseño es factible para la emulación.

Posterior a la simulación se realiza el análisis e identificación de las necesidades de la universidad para caracterizar y diseñar la emulación. Luego de recopilar los datos básicos de instalación en la zona del sendero peatonal en dirección al cerro el volador se investigan las necesidades lumínicas de la institución con respecto al sendero peatonal con base en la normativa vigente en específico tomando como base el RETILAP.

Diseño del prototipo a montar en emulación según las necesidades y características del terreno y la propiedad. Con la recolección de datos necesarios previa entrevistas e investigación se procede a tabular y filtrar los datos para el diseño de la microrred.

Listar la cantidad de materiales y recursos para la construcción del diseño según el presupuesto. Con los datos obtenidos a través de diseño fijado se procede a listar la cantidad y el tipo de cableado necesario en el proyecto con base en las normas establecidas por la NTC 2050.

En vista de los datos recolectados después de haber realizados todos los cálculos correspondientes y de haber realizado la visita se estableció una lista de materiales y recursos necesarios para desarrollo del mismo.

Tabla 4.
Materiales y recursos

Ítem	Material	Cantidad	Unidades
1	cinta vinilo aislante negra	1	unid
2	conector resorte 3m	30	unid
3	encauchetado 4* 14 awg	70	mtrs
4	fuelle de tensión de 120 VCA a 24 VDC	7	unid
5	tornillo autoperforante 1" cabeza hexagonal	14	unid
6	caja plástica ip65 25*20*8	6	unid

Fuente: diseño Jonathan Andrés Zapata Suarez

Nota: se deja expresada en la anterior tabla los materiales necesarios para la realización de la microrred

Inicio del diseño del prototipo a emular. se procede a realizar el diseño de la microrred y su diagrama unifilar con base en los datos anteriormente obtenidos.

Para cumplir con las tareas del tercer objetivo específico, se debe hacer el montaje y puesta en marcha de la emulación. Con base en el diseño obtenido se realizan los cálculos correspondientes a través del software Microsoft Excel en base a la normatividad establecida dando cumplimiento a los límites establecidos para evitar problemas en la red y sobrecalentamiento en los conductores.

Análisis y recolección de datos de funcionamiento del prototipo en el emulador. A partir de los cálculos obtenidos se procede al análisis para la viabilidad del proyecto y su cumplimiento ante los estándares y normas para el correcto funcionamiento.

Ajustes al emulador en caso de falla o mejoramiento. Se procede a realizar ensayos a modo prueba y error para verificar la solidez del diseño, si dado el caso resultan fallas en las pruebas se identificarán dichas fallas para corregirlas y asegurar la calidad del proyecto.

Elaborar reporte final de funcionamiento del prototipo en el emulador. Luego de asegurar la calidad, seguridad y confiabilidad del diseño se realizará el debido informe con los datos y esquemas necesarios para la puesta en marcha del proyecto.

7. Conclusiones

Después de haber realizado los cálculos correspondientes para poder seleccionar el cableado adecuado de la microrred del sendero peatonal de la Institución Universitaria Pascual Bravo queda claro que, aunque los cálculos arrojados según la cantidad de cargas nos otorgue la selección para el conductor con la capacidad de corriente adecuada se debe tener en cuenta como primera referencia la normatividad vigente de cada país en cuanto a la escogencia de este, los resultados obtenidos y según normatividad que en Colombia la cual rige dicha elección es la NTC-2050 nos arroja que el conductor debe ser mínimo un calibre 12 AWG, aun así no debemos guiarnos solo por esto, pues debemos tener en cuenta cálculos adicionales a la caída de voltaje ya que entre mas distancia haya entre las cargas y la fuente de generación o suministro la calidad de entrega en el voltaje puede verse disminuida y generar consecuencias negativas.

La simulación de la microrred se realizó mediante el software de simulación *powerfactory* *digsilent* el cual es un software muy completo y de referencia en el ámbito profesional esto nos permitió no solo interactuar con cada elemento que compone la microrred; también nos permitió asegurar su viabilidad para la posterior emulación, al tiempo que nos arrojaba los datos a corregir en esta y sus posibles soluciones. Adicional, el empleo del software *electronicsworkbench* nos permitió asegurar una mejor veracidad de los cálculos correspondientes para la posterior simulación por lo que aseguran que la viabilidad pudo ser demostrada matemáticamente.

8. Recomendaciones

Con base en la instalación de la microrred, y realizando un análisis, se puede observar como mejora; instalar un tablero donde se pueda implementar protecciones, las cuales aseguren los distintos componentes de la microrred como ejemplo: el cableado y las luminarias.

Teniendo en cuenta que se trata de una microrred y que para lo cual en nuestro caso nos correspondió realizar el cálculo del cableado para la viabilidad de la microrred, la previa instalación de las luminarias conectadas a una fuente externa la cual pertenece al operador de red y si hablamos de una microrred hacemos referencia a un sistema respaldado por varias fuentes de energía, para lo cual se recomienda realizar un trabajo investigativo en el cual se puedan ubicar un sistema fotovoltaico en un lugar donde se pueda optimizar y aprovechar la radiación solar de manera que dicha instalación permanezca en un estado de confiabilidad.

Se recomienda para futuras instalaciones, tener en cuenta los diámetros de sus ductos debido a temas de temperatura y según la NTC la cantidad de conductores que se van instalar por estos para evitar problemas de calidad de energía.

Se recomienda en caso tal de que la microrred sea alimentada por medio de otra fuente de energía renovable, realizar un trabajo investigativo en el cual, por medio de lógica cableada, programación y analizadores de red se tenga información de cómo se encuentra funcionando dicha instalación.

9. Referencias bibliográficas

- Edenhofer, Pichs-Madruga, Sokona, Seyboth, Matschoss, Kadner.... Stechow. (2011) *informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático (IPCC)*, pp. 19- 242.
- Orus, (12 oct. 2021). • *Energía renovable: consumo global 2000-2020*
- Enerdata. (2021). *Energía y clima mundial – Anuario estadístico 2021*. <https://datos.enerdata.net/>.
- PORTAFOLIO. (2022). *El país multiplicará por cien su capacidad en energías renovables. infraestructura*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/el-pais-multiplicara-su-capacidad-en-energias-renovables-560479>
- Ariza Melo. (2020). *Microrredes: una alternativa sostenible para la universalización de la energía eléctrica*. pp 2-12. Santiago de Cali.
- Ramón Ducoy, F. (2012). “*Implantación de energías renovables en una planta de producción de amoníaco*”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
- Guacaneme, Javier a, Velasco, David, & Trujillo, César I. (2014). *Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes*. *información tecnológica*, 25(2), 175-188. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642014000200020>.
- P. Srikanth, O. Rajendra, A. Yesuraj, M Tilak, K. Raja. (2013). *Load Flow Analysis Of Ieee 14 Bus System Using MATLAB*. *IJERT*. Pp 3 – 7. <https://www.ijert.org/research/load-flow-analysis-of-ieee14-bus-system-using-matlab-IJERTV2IS50038.pdf>
- Yue Song. (2015). *Small-disturbance angle stability analysis of microgrids: A graph theory viewpoint*. https://www.researchgate.net/publication/303381482_Small-disturbance_angle_stability_analysis_of_microgrids_A_graph_theory_viewpoint

10. Bibliografía

Comisión de Regulación de Energía y gas-CREG. Resolución CREG 030 de 2018 por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional, (2018).

Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

Cigre Colombia. (2021) Regulación, normativa y nuevos mercados en microrredes en el sector eléctrico colombiano.

Pérez Fernández, Pablo. (2017). Descripción e infraestructura de una microrred para un entorno residencial. (Grado en ingeniería eléctrica). Universidad de Valladolid escuela de ingenierías industriales.

Vera Saldaña, V. (2020). Control de potencia en microrredes A.C. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/593

Chaparro Vargas, A. Liscano Segura, J. (2017). Diseño e implementación de una microrred en la Universidad distrital francisco José de caldas sede ingeniería. (Grado en ingeniería eléctrica). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Botero Pérez, M. Rodas Rodríguez, W. (2020). Diseño de centro de monitoreo para microrred DC de la Institución Universitaria Pascual Bravo. (Grado en ingeniería eléctrica). Institución Universitaria Pascual Bravo.

Cárdenas Rodríguez, L. Salazar, D. (2020). Implementación de un sistema de transmisión para la microrred DC de la Institución Universitaria Pascual Bravo. (Grado en tecnología eléctrica). Institución Universitaria Pascual Bravo.

Guacaneme, W. Rodríguez, A. Gomez, L. (2016). Emulador de una microrred residencial aislada con un sistema de gestión de energía a partir de generación fotovoltaica y tecnología V2G. (Grado en ingeniería eléctrica). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Guamán Sánchez, C. (2017). Diseño de una microrred basada en renovables para suministrar electricidad a un área de concesión de la empresa eléctrica regional centro sur. (Grado en máster en tecnología energética para el desarrollo sostenible). Universitat Politècnica de Valencia.

Lamigueiro, O. P. (2013). Energía solar fotovoltaica. Researchgate. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Perpinan_Lamigueiro/publication/249012821_

López, J. Orlando Pabón, M. (2017). Diseño de procesos de cálculo para sistemas fotovoltaicos residenciales o de microempresa. Instituto Tecnológico Metropolitano ITM.

Bordons, C. García Torres, F. Valverde, L. (2015). Gestión Óptima de la energía en microrredes con generación renovable. Revista iberoamericana de automática e informática industrial. 12, Pág. 117-132.

Silva, Jorge. (2012). Caracterización y estudio del modelo IEEE9 orientado hacia el análisis de estabilidad transitoria. Revista INGE CUC, Volumen 8, Número 1. Pág. 173-190.