

**ANÁLISIS TÉCNICO PARA EL CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS
DUCTOS DE EMULADOR DE MICRORRED BASADO EN LA SIMULACIÓN DE LA
OPERACIÓN DE UN MODELO ESTANDARIZADO.**

**CARLOS ANDRÉS BRICEÑO VÉLEZ
JORGE LUIS HINCAPIÉ GARCÍA
CRISTIAN DAVID TOBON MARIN**

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

2022

**ANÁLISIS TÉCNICO PARA EL CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS
DUCTOS DE EMULADOR DE MICRORRED BASADO EN LA SIMULACIÓN DE LA
OPERACIÓN DE UN MODELO ESTANDARIZADO.**

**CARLOS ANDRÉS BRICEÑO VÉLEZ
JORGE LUIS HINCAPIÉ GARCÍA
CRISTIAN DAVID TOBON MARIN**

Trabajo de grado para optar al título de tecnólogo en eléctrica

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

**Asesor metodológico
Sergio Danilo Saldarriaga Zuluaga
Phd en ingeniería electrónica y computación**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2022**

Contenido

	Pág.
Lista de figuras	5
Lista de tablas	6
Resumen	7
1 Planteamiento del problema	11
1.1 Descripción	11
1.2 Formulación	12
2 Justificación	13
3 Objetivos	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos	14
4 Referentes teóricos	15
4.1 Microrredes.	15
4.2 Energías renovables.	16
4.3 Normatividad aplicada a las microrredes.	21
5 Metodología	23
5.1 Tipo de proyecto	23
5.2 Método	23
5.3 Instrumentos de recolección de información	24
5.3.1 Fuentes primarias.	24
5.3.2 Fuentes secundarias.	24
6 Resultados del proyecto	25
6.1 Recolección de información de la zona de instalación.	25
6.2 Análisis de la información recolectada y filtración de datos relevantes.	29

	4
6.3 Elementos de la microrred	31
6.4 Investigación del modelo estandarizado.	32
6.5 Diseño del emulador.	34
6.6 Implementación del diseño en el Software Digsilent Power Factory.	36
6.7 Análisis de datos con generadores solares fuera de funcionamiento.	37
6.8 Análisis de datos con generadores solares funcionando.	37
6.9 Investigación de normatividad que rige el dimensionamiento de los cables	38
6.10 Investigación de normatividad que rige el dimensionamiento de los ductos.	40
6.11 Dimensionamiento de los cables	41
6.12 Dimensionamiento de los ductos	45
6.13 Cálculo de cantidad de materiales para implementación de ducto	46
6.14 Compra de materiales para la instalación de la microrred.	47
7 Conclusiones	48
8 Recomendaciones	49
9 Referencias bibliográficas	50

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama general de una microrred híbrida.	15
Figura 2. Tendencia en la concentración de CO ₂ atmosférico.	16
Figura 3. Capacidad instalada de energía solar a nivel mundial.	17
Figura 4. Capacidad instalada de energía solar en Colombia.	18
Figura 5. Uso de la energía solar.	18
Figura 6. Mapa y Convenciones de Radiación Global Horizontal Medio.	20
Figura 7. Tabla C11. Número máximo de conductores.	21
Figura 8. Tabla 310-16. Capacidad de corriente permisible en conductores aislados.	22
Figura 9. Revisión de tubería existente.	26
Figura 10. Inspección de cables actualmente instalados en microrred existente.	26
Figura 11. Reconocimiento de la capacidad y tensión de alimentación.	27
Figura 12. Luminarias existentes.	27
Figura 13. Toma de distancias entre postes.	28
Figura 14. Diagrama arquitectónico de la microrred completa.	29
Figura 15. Diagrama unifilar de la microrred completa.	30
Figura 16. Cuadro de convenciones.	31
Figura 17. Fuente suicheada.	32
Figura 18. Esquema típico de 14 barras de la IEEE.	33
Figura 19. Recorrido de alimentación para nodo principal.	34
Figura 20. Transformador de distribución.	35
Figura 21. Modelado de microrred.	36
Figura 22. Tabla 6.5 Código de colores para conductores c.a.	40
Figura 23. Tabla 6.6. Código de colores para conductores c.c.	40
Figura 24. Tabla resistencia y reactancia para Cables de Cobre de Baja Tensión.	43
Figura 25. Recorte de pantalla a Tabla C11. Número máximo de conductores de la NTC 2050.	46

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Datos transformador.	35
Tabla 2. Datos línea de transmisión.	35
Tabla 3. Datos líneas ramales micro red.....	36
Tabla 4. Resultados Potencia y corriente (paneles inactivos).	37
Tabla 5. Resultados Voltajes (paneles inactivos).	37
Tabla 6. Resultados Potencia y corriente (paneles activos).....	38
Tabla 7. Resultados Voltajes (paneles activos).	38
Tabla 8. Datos técnicos.....	41
Tabla 9. Resultados cálculos ramales.	45
Tabla 10. Lista de materiales y equipos.	47
Tabla 11. Cotización lista de materiales y equipos.	47

Resumen

ANÁLISIS TÉCNICO PARA EL CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS DUCTOS DE EMULADOR DE MICRORRED BASADO EN LA SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE UN MODELO ESTANDARIZADO.

CARLOS ANDRÉS BRICEÑO VÉLEZ

JORGE LUIS HINCAPIÉ GARCÍA

CRISTIAN DAVID TOBON MARIN

El presente documento detalla el estudio realizado para el modelado de la microrred existente y una microrred futura mediante el software Digsilent Power Factory y posteriormente realizar el montaje físico de la microrred proyectada. La institución universitaria Pascual Bravo cuenta con una zona peatonal sin iluminación por falta de alimentación eléctrica y los equipos adecuados para que ésta funcione; la simulación consta de ingresar en el software los datos necesarios para analizar el comportamiento de la microrred existente y futura de manera conjunta para constatar que los ductos, el cableado y los paneles solares cumplirán su función en la instalación evitando perjuicios en el sistema en la puesta en marcha. La simulación y el montaje se lleva a cabo mediante visitas para recolección de datos, estudio y aplicación de normas como la NTC2050 y el RETIE con el fin de tener la certeza del buen desarrollo del proyecto, encontrando tablas, ecuaciones e información de calidad para velar por el buen funcionamiento de la instalación.

Palabras claves: Microrred, emulador, energías renovables, modelo estandarizado.

Abstract

This document details the study carried out for the modeling of the existing microgrid and a future microgrid using the Digsilent Power Factory software and subsequently carrying out the physical assembly of the projected microgrid. The Pascual Bravo university institution has a pedestrian area without lighting due to lack of electricity and the appropriate equipment for it to work; The simulation consists of entering the necessary data into the software to analyze the behavior of the existing and future microgrid jointly to verify that the ducts, wiring and solar panels will fulfill their function in the installation, avoiding damage to the system at start-up. on going. The simulation and assembly is carried out through visits for data collection, study and application of standards such as the NTC2050 and the RETIE in order to be certain of the proper development of the project, finding tables, equations and quality information to ensure for the proper functioning of the facility.

Keywords: Microgrid, emulator, renewable energies, standardized model.

Glosario

CERTS: Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (Consortio para soluciones de tecnología de confiabilidad eléctrica)

DGU: Distributed generation unit (unidad de generación distribuida)

IRENA: The International Renewable Energy Agency (Agencia internacional de energías renovables)

MW: Mega Watts

MWh: Mega Varios - hora

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)

p.u: Por unidad

PPM: Partes por millón

UNEP: United Nations Environment Programme (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente)

UPME: Unidad de Planeación Minero-Energética

Introducción

La demanda energética tanto a nivel nacional como mundial cada vez es mayor y el sistema eléctrico Colombiano prontamente con contará con la capacidad para satisfacer el consumo de todos sus habitantes, este aumento de consumo energético se debe a muchos factores uno de ellos es el avance tecnológico y entre estos es visible la preocupación mundial por disminuir el consumo de combustibles derivados del petróleo y llevando a las personas a buscar otras alternativas de transporte como vehículos eléctricos, así mismo, las precarias condiciones ambientales a las que estamos llevando el planeta debido a los altos niveles de CO2 extremo culpable de los gases invernadero y daño a la capa de ozono.

Debido a estas circunstancias surgen nuevas tecnologías de solución y uno de ellos son las microrredes DC, un sistema de interconexión de red a energías limpias; el presente documento consiste en el planteamiento de una solución para el aporte a la disminución de la problemática usando las cualidades del plantel universitario para construcción de una microrred para la alimentación de las luminarias ubicadas en el sendero peatonal que se dirige hacia la entrada principal de la Institución Universitaria Pascual Bravo, más conocida como “hacia el volador”

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Las energías renovables es un tema bastante serio a nivel mundial, ya que cada vez se tienen más personas caminando hacia este tipo de fuentes de energía por lo que se considera que la institución no se debe quedar estancada con las fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles. Las microrredes son una forma práctica de acelerar la incorporación de las fuentes de energía renovables. Es importante destacar que las microrredes son un conjunto de elementos eléctricos, conectados generalmente en baja o media tensión, los cuales permiten generar y almacenar energía para atender los usuarios de manera distribuida en cierta región. (Núñez, Ortiz & Palma, 2013).

El futuro es la energía verde, la sostenibilidad, las energías renovables (Arnold Schwarzenegger).

Para continuar con los proyectos de microrredes que desarrolla la Institución Universitaria Pascual Bravo se dispone del sendero mejor conocido como “hacia el cerro el volador”, que consta de seis luminarias que es alimentado por medio de un sistema interconectado de suministro de energía solar. Para lograr que el sistema de iluminación del sendero y las fuentes de generación solar se transformen en una microrred el primer paso es realizar el cálculo de los conductores y tuberías para la interconexión de dicho sistema. Avance que se lograra con este trabajo de grado.

Adicionalmente al cálculo de tuberías y cables se modelará la futura microrred en el programa Digsilent Power Factory para posteriormente realizar simulaciones con el propósito de caracterizar su funcionamiento.

1.2 Formulación

¿Cuáles son los parámetros y características de un sistema de ductería y cableado que me permita realizar la interconexión de las luminarias y la planta de energía solar para lograr construir la microrred?

2 Justificación

Implementar una microrred para la iluminación del sendero propuesto ayudará a mitigar el consumo de energías no renovables, así mismo independizar en gran porcentaje el consumo de energía suministrada por EPM logrando devolver a la red, energía que no se consume.

Esta microrred aporta a la institución universitaria Pascual Bravo una iluminación derivada de una energía limpia, beneficiando con una correcta iluminación el sendero que es transitado tanto por estudiantes como por administrativos y operativos, disminuyendo posibles incidentes por falta de campo de visión provocado por la oscuridad de la noche.

Así mismo contar con cálculos acertados y simulados en el programa Digsilent Power Factory para estudiar y entender el comportamiento de la microrred según los cables y ductos seleccionados.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar técnicamente la operación de un modelo estandarizado para el cálculo e implementación de los cables y ductos de un emulador de microrred basado en la simulación con tensiones unitarias.

3.2 Objetivos específicos

Realizar una visita en campo para caracterizar la zona de trabajo mediante una inspección visual y toma de datos para conocer el estado de la red de las seis luminarias actualmente instaladas.

Caracterizar el modelo estandarizado aplicado al emulador de microrred para la selección del simulador, las variables y los parámetros, mediante consulta en fuentes bibliográficas.

Calcular los parámetros de los cables y ductos para el emulador de microrred, basado en la simulación del modelo estandarizado para operación con corrientes directa y alterna.

Implementar los cables y ductos al emulador de microrred que se desarrolla en el sendero peatonal de la institución universitaria Pascual Bravo para la potenciación de futuros proyectos de investigación.

4 Referentes teóricos

4.1 Microrredes.

Se entiende como una Microred un sistema interconectado pequeño con la capacidad de generar y distribuir energía eléctrica con el fin de ahorrar energía, aprovechando las inagotables fuentes de energía alternativas o más conocidas como energías limpias. una microrred cuenta con cualidades atractivas ya que se pueden trabajar en simultaneidad con la red eléctrica de nuestro operador, así mismo como aportar la energía eléctrica no aprovechada al operador. Una microrred es una pequeña red muy práctica que en resumen ahorra energía, reduce costos y es confiable.

(Llano G, 2015)

La revista de divulgación científica *JÓVENES EN LA CIENCIA* de México, explican con base en CERTS que una microrred se puede entender como la interconexión de diversas unidades de generación distribuida como microturbinas, módulos fotovoltaicos, celdas de combustible, generadores eólicos, etc. (Núñez & Lozano, 2016).

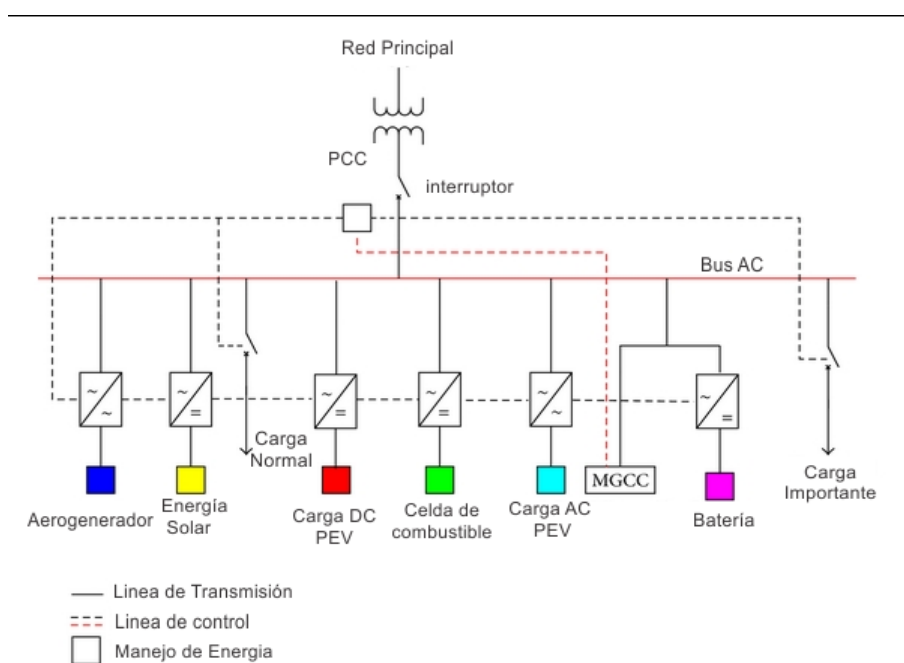


Figura 1. *Diagrama general de una microrred híbrida.*

Fuente. Vol. 2 no. 1, Verano de la Investigación Científica, 2016

4.2 Energías renovables.

“La edad de piedra no acabó por falta de piedras, y la era de los combustibles fósiles tampoco terminará por el agotamiento del petróleo, el gas natural y el carbón”. (José Santamarta, 2004).

Las energías renovables son aquellas fuentes inagotables y con la capacidad de regenerarse, se caracterizan al no basarse en combustibles de origen fósil, estas fuentes de energía son limpias y con potencial de crecimiento a nivel mundial, importantes por no producir gases de efecto invernadero, por lo cual es evidente un menor impacto ambiental. (García, Calderon, Corredor & Gomez, 2013)

Según la UNEP, datos recientes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) muestran un aumento brusco en los niveles globales de dióxido de carbono (CO₂)

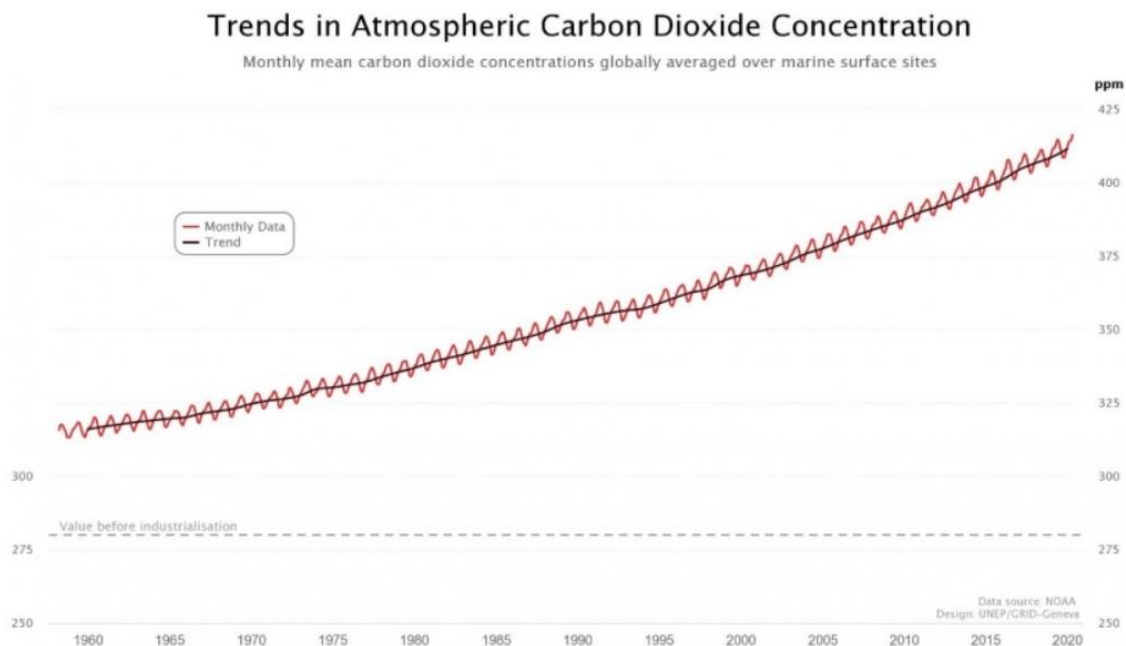


Figura 2. *Tendencia en la concentración de CO₂ atmosférico.*

Fuente. Fuente de datos NOAA, gráficos de la Sala de Situación del Medio Ambiente Mundial del PNUMA.

“Esto es una gran preocupación con respecto a nuestro clima y demuestra, una vez más, que se necesitan medidas urgentes para reducir nuestras emisiones de gases de efecto invernadero. Para mantener el calentamiento global promedio a 1,5 °C, necesitamos alcanzar cero emisiones netas para 2040 (2055 a más tardar)” (Pascal Peduzzi).

Según el reporte de energía instalada de la agencia internacional de energías renovables IRENA, basada en la instalación de fuentes de energías limpias, muestra el crecimiento mundial de la capacidad de energía solar, mostrando que para el año 2020 la capacidad de energía solar fotovoltaica instalada es de 709674 MW. (The International Renewable Energy Agency).

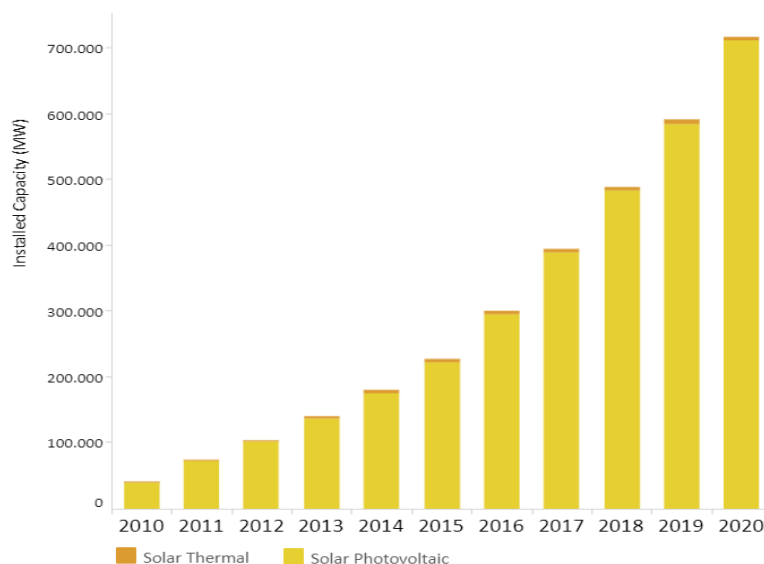


Figura 3. *Capacidad instalada de energía solar a nivel mundial.*

Fuente. IRENA

“En Colombia la energía solar ha aumentado de manera súbita y desmesurada en los últimos 4 años, en el año 2017 Colombia contaba con tan solo 11.3 MW de energía solar fotovoltaica instalada, en el año 2020 IRENA nos muestra que la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica aumentó a 109.6 MW.” (The International Renewable Energy Agency).

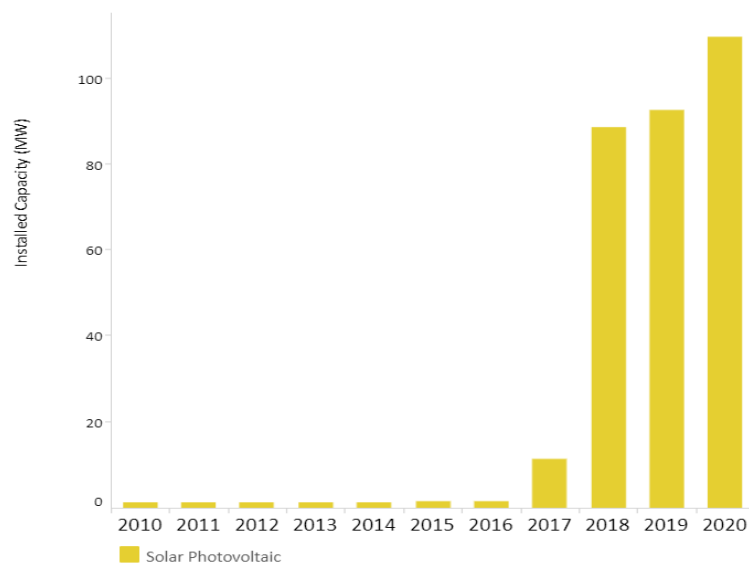


Figura 4. *Capacidad instalada de energía solar en Colombia.*
Fuente. IRENA

La energía fotovoltaica es una de las fuentes renovables más usadas, esta energía consiste en captar la radiación solar a través de un semiconductor conocido como “célula fotovoltaica” convirtiéndolos en energía eléctrica. (The International Renewable Energy Agency).

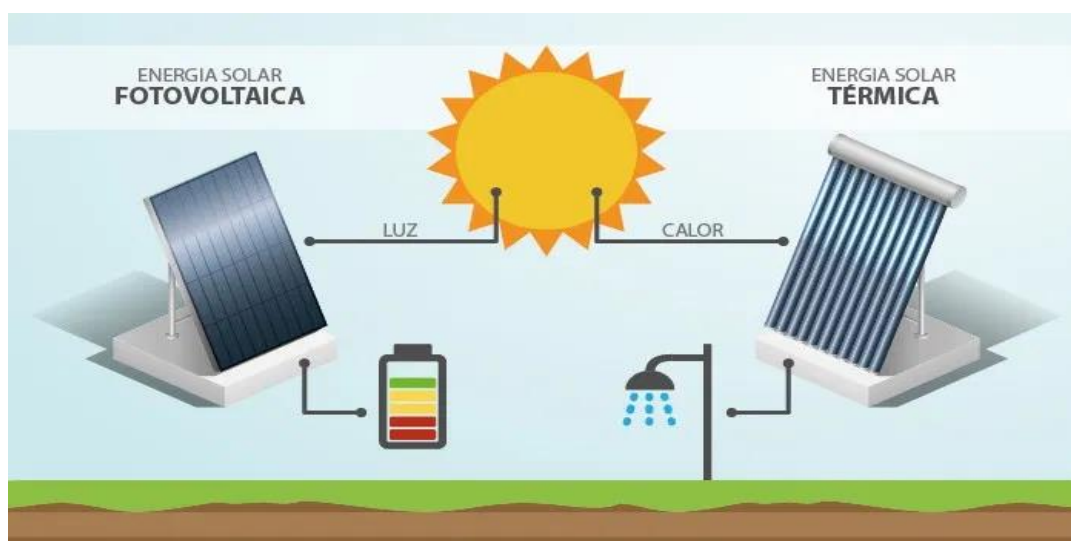


Figura 5. *Uso de la energía solar.*
Fuente. BECQUEL

“Hice una evaluación de cuánta energía se obtiene del sol a la tierra: fue alrededor de 15.000 veces más de lo que la humanidad estaba usando, por lo que no era una cuestión de la fuente; era una cuestión de la tecnología”.

En nuestro país y en todo el mundo se realizan importantes esfuerzos para incrementar la integración de las diferentes formas de energía renovable como parte de la generación de energía eléctrica, con el motivo de satisfacer el constante aumento de la necesidad energética.

La demanda energética del país es cubierta principalmente por centrales hidroeléctricas, esto hace que en tiempo de sequía (fenómeno del niño) los recursos hídricos disminuyen y la generación energética se vea afectada, por lo cual se hace necesario el aumento de otro sistema de generación, provocando alza en el costo del MWh.

La energía solar fotovoltaica puede ser una buena alternativa que ayude a suplir la demanda energética del país, Colombia gracias a la gran ubicación geográfica, tiene un gran potencial energético solar, el promedio de irradiación solar en Colombia es del 4.5 kWh/m²/d³ más específicamente en las regiones de la costa Atlántica, Pacífica, la Orinoquía y la Región Central, mucho más alto que Alemania con solo 3,0 kWh/m²/d como referente mundial en uso de energía proveniente de sistemas fotovoltaicos.

Para ser más precisos la UPME (Unidad de planeación minero energética) y el ministerio de minas y energía proyecta que para antes de 2030 el 10% de la energía generada en el país va a producirse a través de generadores basados en sistemas fotovoltaicos, por lo que a futuro su potencial puede ser aún mayor dejando de lado aquellas fuentes provenientes de combustibles fósiles o que modifiquen el entorno ambiental. (UPME, 2015)

No solo el por el beneficio ambiental; cada vez se aumenta este tipo de proyectos por parte del sector privado por sus múltiples beneficios económicos y tributarios ya que Colombia en busca de competitividad frente a otras naciones ha interpuesto una cantidad de decretos y leyes como la ley 1715 de 2014 que beneficia la implantación de este tipo de proyectos en el país, lo cual se vuelve atractivo ante los ojos del sector empresarial e industrial. (UPME, 2015)

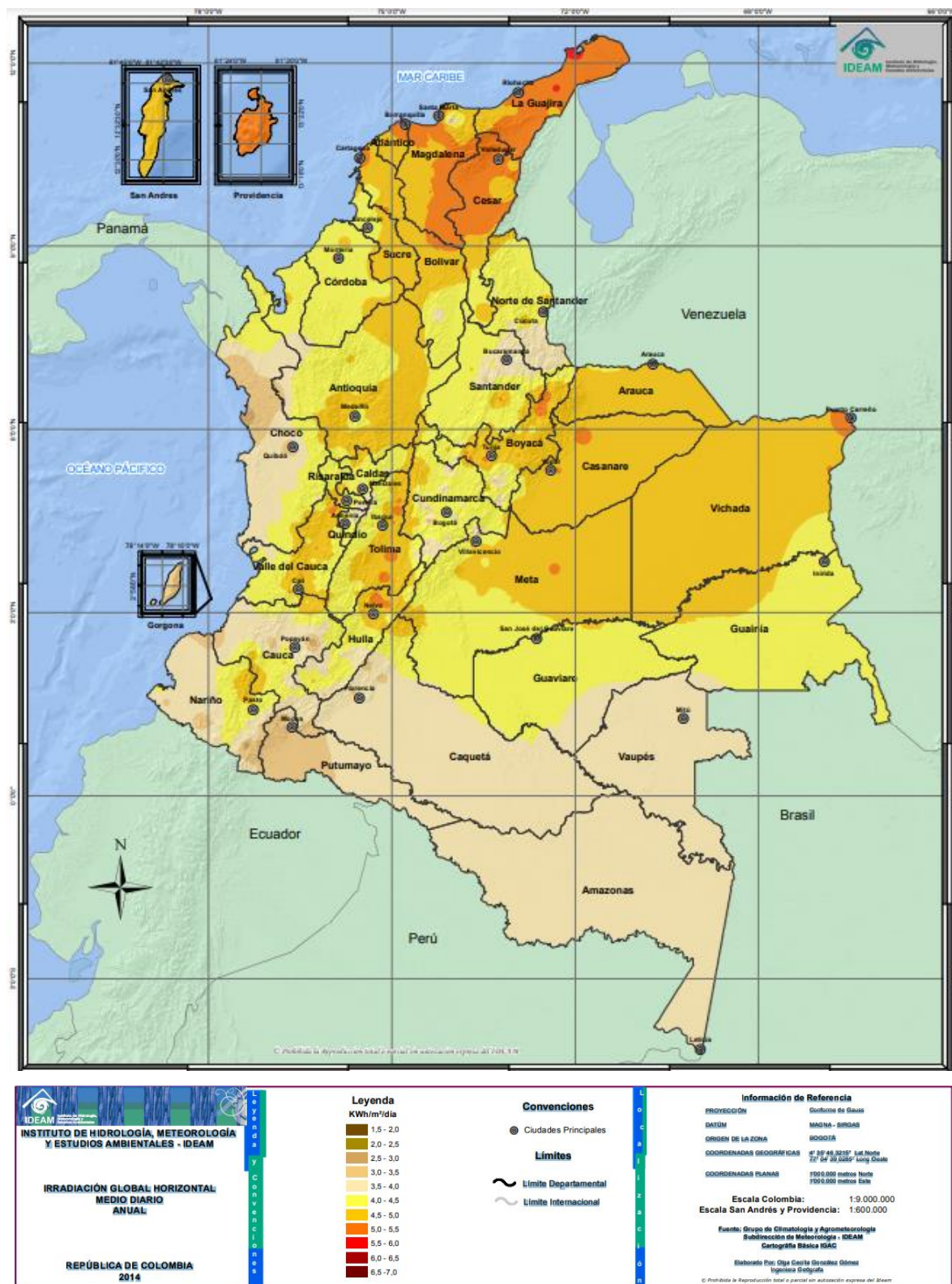


Figura 6. Mapa y Convenciones de Radiación Global Horizontal Medio.
 Fuente. IDEAM, Atlas de Radiación Solar – Interactivo – año 2015. Bogotá, D. C., 2015.

4.3 Normatividad aplicada a las microrredes.

En Colombia las normas que rigen las instalaciones eléctricas son el RETIE y la NTC 2050, por lo cual nos basamos en las tablas mostradas por estas normas.

Para el caso de los cables y ductos se usa la tabla C11. Número máximo de conductores (ver figura 7) y alambres de aparatos en tubo Conduit rígido de PVC, de la NTC 2050; apoyándonos en la cantidad de cables y sus calibres a usar en la interconexión de la microrred, la cual se basa en la tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados (ver figura 8) para 0 a 2 000 V 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. y sus factores de corrección. (NTC 2050, 2020)

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	7	12	20	34	44	70	104	157	204	262
	3,30	12	6	10	16	27	35	56	84	126	164	211
RHH, RHW, RHW-2	2,08	14	5	9	15	24	31	49	74	112	146	187
	3,30	12	4	7	12	20	26	41	61	93	121	155
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25	10	3	6	10	16	21	33	50	75	98	125
	8,36	8	1	3	5	8	11	17	26	39	51	65
	13,29	6	1	2	4	6	9	14	21	31	41	52
	21,14	4	1	1	3	5	7	11	16	24	32	41
	26,66	3	1	1	3	4	6	9	14	21	28	36
	33,62	2	1	1	2	4	5	8	12	18	24	31
	42,20	1	0	1	1	2	3	5	8	12	16	20
	53,50	1/0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	18
	67,44	2/0	0	1	1	1	2	4	6	9	12	15
	85,02	3/0	0	1	1	1	1	3	5	8	10	13
	107,21	4/0	0	0	1	1	1	3	4	7	9	11
	126,67	250	0	0	1	1	1	1	3	5	7	8
	152,01	300	0	0	1	1	1	1	3	4	6	7
	177,34	350	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	202,68	400	0	0	0	1	1	1	2	4	5	6
	253,35	500	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	304,02	600	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
354,69	700	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	
380,02	750	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4	
405,36	800	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3	
456,03	900	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	
506,70	1000	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	
633,38	1250	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	
760,05	1500	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
886,73	1750	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
1013,4	2000	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

Figura 7. Tabla C11. Número máximo de conductores.

Fuente. NTC 2050.

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 O 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 CORRECCION							
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 8. *Tabla 310-16. Capacidad de corriente permisible en conductores aislados.*

Fuente. NTC 2050.

5 Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Este proyecto de grado se enfoca en la investigación, cálculo e implementación de una microrred como proyecto teórico práctico aplicando los conceptos aprendidos en la carrera de tecnología eléctrica, a lo que corresponde que se defina como un proyecto de investigación aplicada.

5.2 Método

Para el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto se debe recolección de información de la zona de instalación. Se procederá al lugar de instalación para la obtención de datos referentes al proyecto de microrred y las necesidades de la Institución Universitaria Pascual Bravo en cuanto iluminación del sendero.

Análisis de la información recolectada y filtración de datos relevantes. Tabulación y filtración de datos relevantes para el correcto diseño de la emulación de la microrred.

Investigación del modelo estandarizado. Se procederá a consultar acerca del modelo, sus características y su funcionamiento para la realización de cálculos y diseño del diagrama unifilar.

Diseño del emulador. Con base en la información recolectada se procede a crear un modelo detallado para el posterior montaje del diseño en la emulación en Digsilent Power Factory.

Implementación del diseño en el Software Digsilent Power Factory. Se introducirá el modelo para crear un funcionamiento dinámico donde se pueda interactuar con los diferentes datos de cables y ductos y comprender el comportamiento de ellos según el cableado a instalar en estos.

Investigación de normatividad que rige el dimensionamiento de los cables para cumplir ante las diferentes anomalías que se puedan presentar en el sistema.

Investigación de normatividad que rige el dimensionamiento de los ductos para cumplir ante las diferentes anomalías que se puedan presentar en el sistema.

Con base a la normatividad dimensionar los cables que cumplan para poder ser instalados en la microrred.

Con base a la normatividad dimensionar los ductos que serán utilizados en la microrred.

Cálculo de cantidad de materiales para implementación de ducto con base a los datos obtenidos. Con base en los datos obtenidos del diseño idóneo después de analizar las posibles fallas se elige el ducto adecuado para la instalación de la microrred.

Compra de materiales para la instalación de la microrred. Según los datos arrojados para la compra del ducto se buscará en el mercado los precios más competitivos en relación costo-beneficio y coordinar el transporte y descargue de los materiales en el lugar de instalación.

5.3 Instrumentos de recolección de información

5.3.1 Fuentes primarias.

Se tomarán como fuentes de primera mano memorias de información, noticias, estadísticas, informes y libros de investigación y de normas técnicas como apoyo esencial para extraer datos completamente confiables para la elaboración del proyecto.

5.3.2 Fuentes secundarias.

Para el caso de fuentes secundarias se contempla revisar información de artículos de revistas de investigación científica donde podamos encontrar información rastreable para verificar su veracidad.

6 Resultados del proyecto

Implementamos la solución de cálculos, sus variables y demás componentes que intervienen en su funcionamiento para implementar una simulación e instalación de un sistema de microrred, esto basándonos en sistemas estandarizados de la norma.

Consistió en adecuar los cables y ductos para la conexión de seis luminarias instaladas bajo un modelo de Microrred ubicada en el sendero peatonal "hacia el cerro el volador".

Se realizaron estudios que aportaron a la investigación de estas microrredes; se hizo pruebas de simulación mediante el software Digsilent Power Factory, simulando el comportamiento de los cables por calentamiento debido al factor de agrupación y verificando el ducto y los cables adecuados para la instalación con base a potencia instalada y demás variables que afectan el correcto funcionamiento.

Luego de concluir con esta simulación se procedió con la instalación física de la microrred en el lugar previamente especificado, conectando a ella las distintas fuentes de alimentación.

6.1 Recolección de información de la zona de instalación.

Se procederá al lugar de instalación para la obtención de datos referentes al proyecto de microrred y las necesidades de la Institución Universitaria Pascual Bravo en cuanto iluminación del sendero.

La actividad consistió en desplazarse hasta el lugar para realizar los levantamientos de datos iniciales de la microrred existente, tales como, reconocimiento de la conexión o nodo principal de alimentación, distancias entre postes o cajas de conexión, tuberías existentes, cable actualmente instalado, potencia de las luminarias y tensión de alimentación de las mismas.

Inicialmente se buscó la alimentación principal para entender la conexión de la red, donde se encuentra que actualmente está conectada del alumbrado público en el poste principal, de allí se

dirige una conexión monofásica con una tensión de 120V hacia la caja de inspección y conexión donde se encuentra el nodo principal y se divide en dos derivaciones, una hacia la primera y segunda luminaria (contando desde el inicio de la portería), así mismo otra derivación para el resto de luminarias (tercera luminaria en adelante).



Figura 9. *Revisión de tubería existente.*
Fuente. Propia

Destapando las cajas de inspección se halla las tuberías y cables y se logra identificar el tamaño de las tuberías (1" 1/2 para las tuberías que interconectan todo el sistema y 3/4" para las tuberías que conecta con la lámpara) (ver figura 9). Igualmente se identifica el tipo de cable instalado actualmente, el cual es encauchetado de 3X12 AWG, estos datos se pueden observar en la figura 10.



Figura 10. *Inspección de cables actualmente instalados en microrred existente.*
Fuente. Propia



Figura 11. *Reconocimiento de la capacidad y tensión de alimentación.*
Fuente. Propia

Se revisaron las características de las luminarias instaladas, las cuales tienen una capacidad de 35 Watts con una tensión de alimentación de 24 Voltios de corriente directa, esto se puede verificar en la placa de características instalada en las luminarias (ver figura 11) entendiendo estos datos se concluye que estas lámparas deben de estar equipadas mediante unas fuentes que disminuyan la tensión de alimentación y rectifiquen la onda a corriente continua.



Figura 12. *Luminarias existentes.*
Fuente. Propia

Se tomaron medidas de las distancias entre las luminarias para conocer el recorrido de los ductos y cables, además, realizar un cálculo presupuestal y proyectar el material faltante requerido para interconectar la red antigua con la nueva. (ver figura 13).

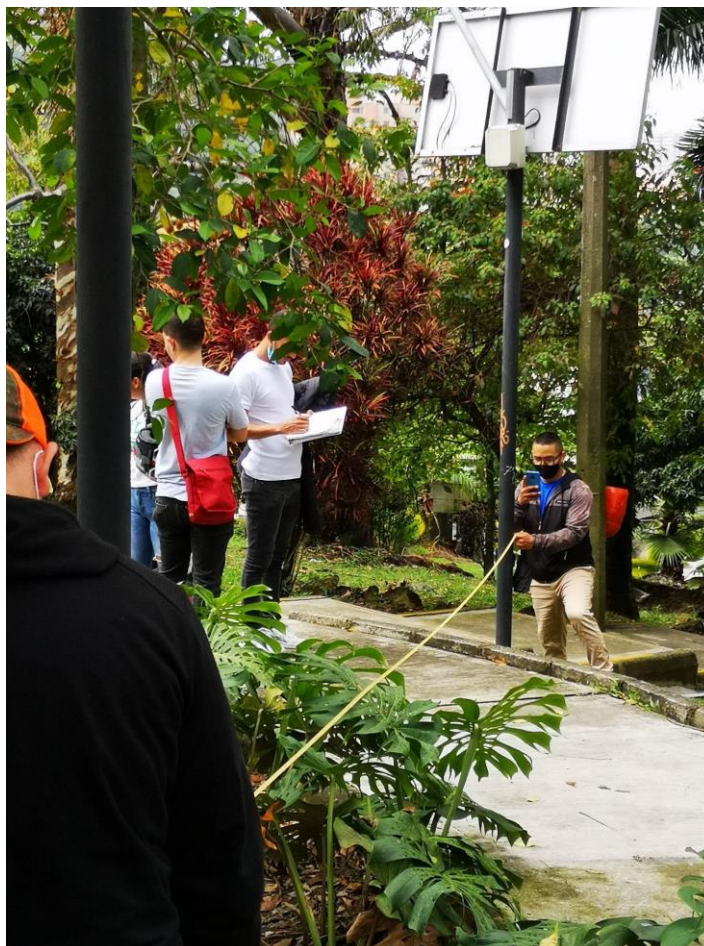


Figura 13. *Toma de distancias entre postes.*

Fuente. Propia

Este levantamiento de datos es pertinente para la simulación de la microrred, ya que con ellos se podrá identificar las múltiples variables que influyen en el sistema tales como: caídas de tensión, calentamientos en los conductores, factores de temperatura por agrupación de cables dentro del ducto.

Ingresando estos datos y las características del cable podremos saber la eficiencia de la instalación, comportamiento en caso de cortocircuito y sobrecarga del sistema, todo esto mediante la simulación de la microrred completa en el Software Digsilent.

6.2 Análisis de la información recolectada y filtración de datos relevantes.

Se realiza una posterior tabulación y filtración de datos relevantes para el correcto diseño de la emulación de la microrred.

Con los datos obtenidos de la visita se procedió a ordenarlos para que sean mejor visualizados y así ser entendidos, esto se lleva a cabo mediante ilustraciones que contengan la información como tablas, diagramas, imágenes, figuras, etc.

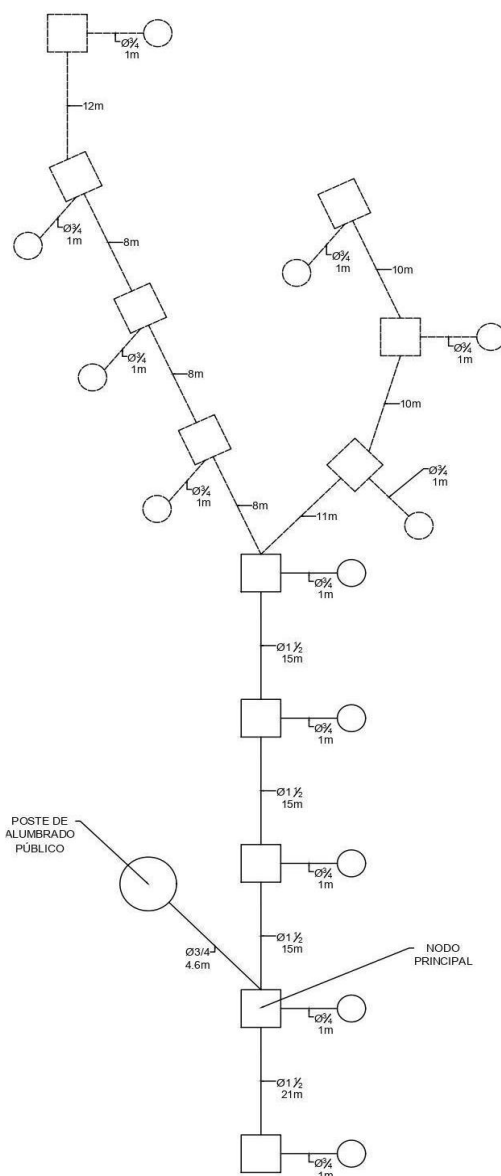


Figura 14. Diagrama arquitectónico de la microrred completa.

Fuente. Propia

Con el fin de mostrar la ubicación de las luminarias se realizó un diagrama arquitectónico ilustrativo donde se puede apreciar la distribución de las mismas, además, el tamaño de las tuberías actualmente instaladas y la distancia entre cada caja de conexión, así mismo, con una línea discontinua se diferencia la red futura que será conectada (ver Figura 14), también se puede apreciar cuál es el nodo principal y de donde deriva su alimentación.

Para efectos de entendimiento de los diagramas, tanto unifilar como arquitectónico las convenciones de cada elemento se pueden ver en la Figura 16, allí la simbología está identificada y nombrada adecuadamente.

En la figura 15, se puede ver que equipos eléctricos conforman la microrred, allí podemos evidenciar que para que las luminarias puedan funcionar, deben de pasar por un proceso de disminución de voltaje y rectificación de la corriente alterna a corriente directa

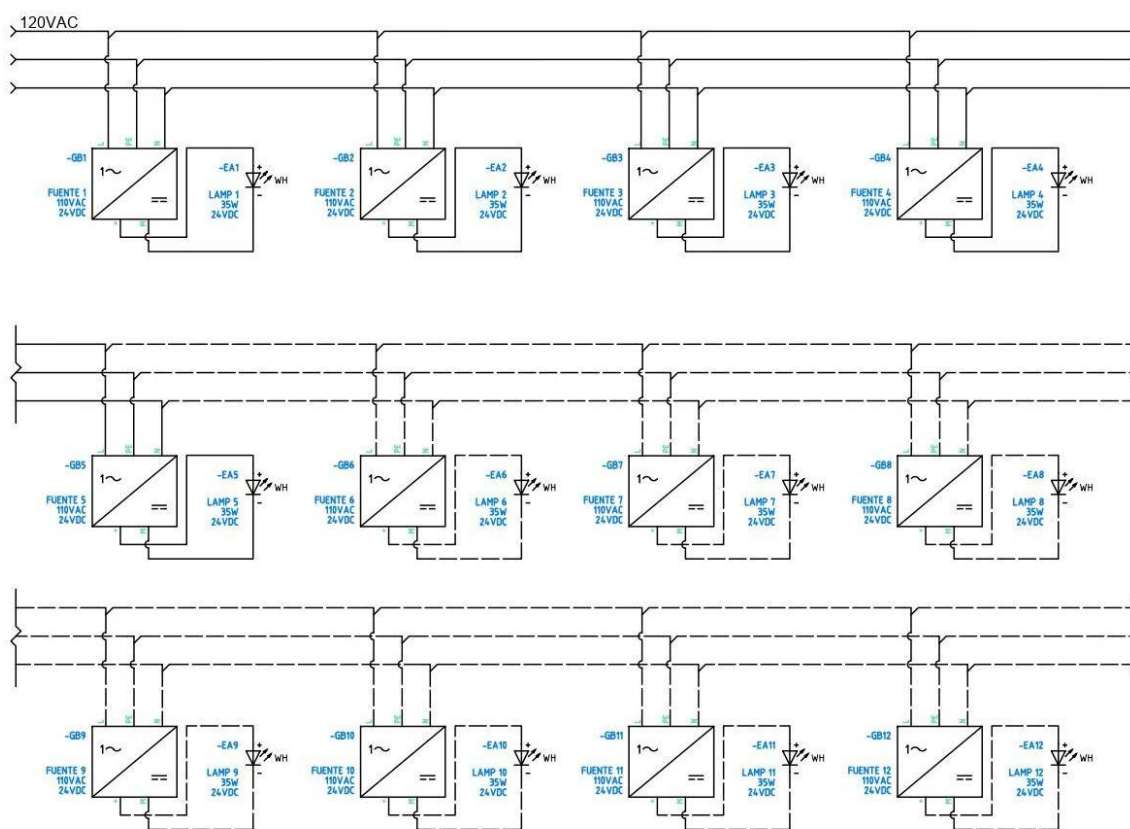


Figura 15. Diagrama unifilar de la microrred completa.

Fuente. Propia

SIMBOLOGÍA	
	CAJA DE INSPECCIÓN
	POSTE METÁLICO
	FUENTE DE ALIMENTACIÓN
	LAMPARA TIPO LED

Figura 16. *Cuadro de convenciones.*
Fuente. Propia

6.3 Elementos de la microrred

Poste: “Madero, piedra o columna colocada verticalmente para servir de apoyo o de señal” (RAE, 2021). en la microrred, actualmente hay 12 postes metálicos existentes de 3” de ancho y 3 metros de alto. (ver figura 13).

Lámpara: “Utensilio o aparato que, colgado o sostenido sobre un pie, sirve de soporte a una o varias luces artificiales” (RAE, 2021). Al igual que los postes, existen 12 lámparas instaladas en estos, aunque actualmente solo 5 de ellas se encuentran con alimentación eléctrica. Estas lámparas tienen una potencia de 35W y una tensión nominal de 24VDC como se pudo apreciar en la figura 11 y debido a que la alimentación general es 120VAC se requieren de fuentes para que las lámparas puedan funcionar correctamente sin incurrir en daño del equipo por sobrevoltaje. (ver figura 12).

Fuente: Equipo eléctrico, cuya función es suministrar energía eléctrica con un voltaje deseado según la necesidad del equipo final. revisando la red existente se encuentran dos factores por los

cuales las 6 lámparas restantes no funcionan; el primer factor es la falta de ductos y cables para alimentar las lámparas y el segundo factor corresponde a la inexistencia de fuentes. En este caso se requieren 6 fuentes con conversión de 120VAC a 24VDC y una capacidad para soportar una carga de 35W mínimo, para efectos de ilustración se recomienda ver Figura 17.



Figura 17. *Fuente conmutada.*

Fuente. Página web empresarial Didácticas electrónicas I+D

Esta fuente está embebida en una caja termoplástica o similar, con protección hermética al polvo y protegida contra el agua proyectada con IP65 o superior y certificación RETIE con el fin de garantizar la protección de la fuente conmutada y así mismo evitar una pérdida por cortocircuito en la lámpara.

6.4 Investigación del modelo estandarizado.

Se procederá a consultar acerca del modelo, sus características y su funcionamiento para la realización de cálculos y diseño del diagrama unifilar.

El modelo de red de 14 nodos de la IEEE consiste en un sistema interconectado más complejo donde se garantiza una alimentación de red constante; gracias a sus nodos interconectados mediante líneas de transporte de energía que a su vez conectan la carga con las fuentes de energía de una manera estratégicamente ordenada se logra tener una mayor autonomía en el sistema para que las fallas generen un menor impacto en el suministro de electricidad.

En la figura 18, los nodos se representan mediante barras enumeradas del 1 al 14, haciendo referencia a los 14 nodos de la red estandarizada, este esquema se compone mediante generadores, representados con la letra “G”, que se encarga de convertir una energía inicial en una eléctrica; además, se tienen compensadores sincrónicos, representados con la letra “C” con la función de estabilizar la tensión y corregir el factor de potencia, también hay transformadores, cuya función es disminuir o elevar la tensión en el sistema para transportar la energía de un punto a otro; adicionalmente tenemos cargas.

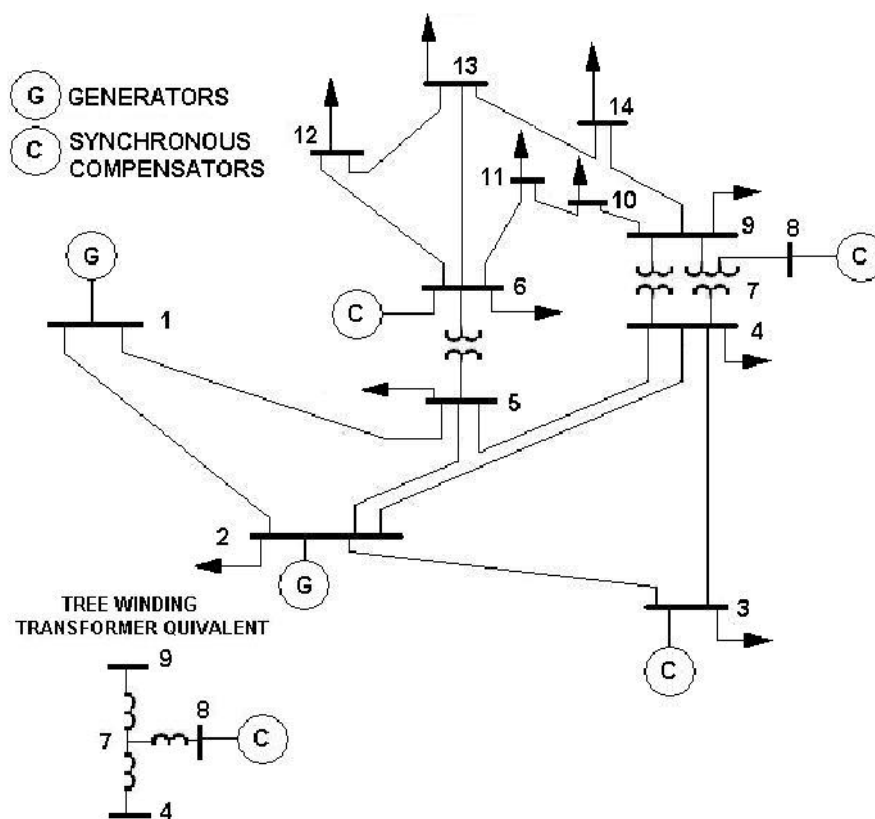


Figura 18. Esquema típico de 14 barras de la IEEE

Fuente. Valerino, Juan & Núñez, Raúl & Díaz, Annavell & Banderas, Moisés. (2012). La estabilidad de la tensión de los sistemas eléctricos de potencia utilizando el programa “PSAF”; Voltage stability of electric power system using the program “PSAF”. Ingeniería Energética. 33. 84-93.

Al emular la red y constatar que esta funciona en óptimas condiciones se procede a realizar el empalme de la red antigua con la nueva, teniendo este conjunto a futuro se podrá cumplir con el propósito de construir el modelo de red estandarizado de 14 nodos, proceso que se le dará continuidad con otros trabajos de grado.

6.5 Diseño del emulador.

Con base en la información recolectada se procede a crear un modelo detallado para el posterior montaje del diseño en la emulación en Digsilent Power Factory.

Propiedades de la Red principal y alumbrado público: en vista que la red actualmente instalada se encuentra conectada en el nodo principal, el cual se alimenta de la red de alumbrado público de EPM (Empresas Públicas De Medellín); se procede a extraer los datos necesarios para usarlos en el modelado de la red en el software Digsilent Power factory.

Estos datos se extraen del GEOPORTAL de EPM consultando las redes públicas instaladas en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

En la figura 19, podemos observar el recorrido (mediante una línea de color azul claro), desde la ubicación del transformador (señalado con la flecha en color verde) hasta el último poste de la red de alumbrado público (señalado con la flecha en color morado), allí inicia la conexión de la microrred de la universidad, la distancia entre estos dos puntos es de 166 metros, cableado con calibre 1/0 AWG TRIPLEX NEUTRO DESNUDO desde el transformador de distribución con consecutivo #96404 con una potencia de 45 KVA, esta información se puede constatar con la figura 20 y en la tabla 1.

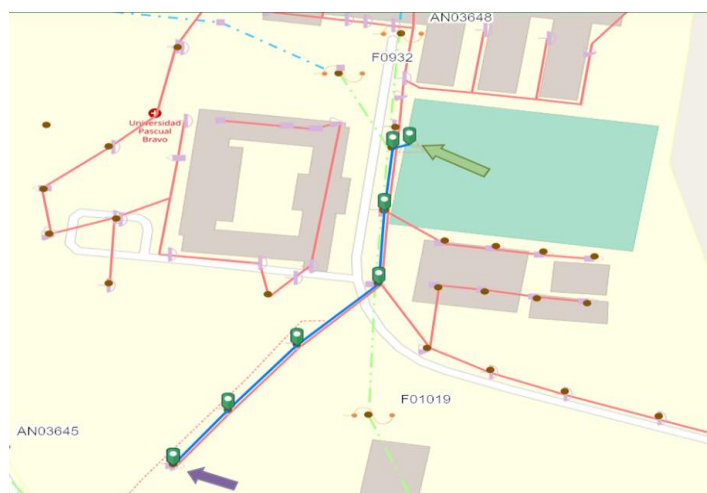


Figura 19. *Recorrido de alimentación para nodo principal.*

Fuente. Redes de energía, Geoportal EPM



Figura 20. *Transformador de distribución.*

Fuente. Propia

Tabla 1.

Datos transformador.

Tipo de transformador	En aceite
Potencia	45 KVA
Tensión de entrada (HV)	13200 V
Tensión de salida (LV)	220 V
Impedancia de cortocircuito (Uz)	3%

Fuente. propia

Tabla 2.

Datos línea de transmisión.

Tipo de cable	1/0 AWG tríplex neutro desnudo
Distancia	166 metros (0.166 Km)
Resistencia del cable (R) 75°C	0.659 Ohm/Km
Reactancia del cable (X)	0.095 Ohm/Km

Fuente. propia

Tabla 3.

Datos líneas ramales micro red.

Tipo de cable	Encauchetado 4x12 AWG
Resistencia del cable (R) 75°C	6.56 Ohm/Km
Reactancia del cable (X)	0.177 Ohm/Km
Distancia a nodo principal	4.6m (0.0046km)
Distancia tramo #1	21m (0.021km)
Distancia tramo #2	15m (0.015km)
Distancia tramo #3	15m (0.015km)
Distancia tramo #4	15m (0.015km)
Distancia tramo #5	8m (0.008km)
Distancia tramo #6	8m (0.008km)
Distancia tramo #7	8m (0.008km)
Distancia tramo #8	12m (0.012km)
Distancia tramo #9	11m (0.011km)
Distancia tramo #10	10m (0.01km)
Distancia tramo #11	10m (0.01km)

Fuente. propia

6.6 Implementación del diseño en el Software Digsilent Power Factory.

Se introducirá el modelo para crear un funcionamiento dinámico donde se pueda interactuar con los diferentes datos de cables y ductos y comprender el comportamiento de ellos según el cableado a instalar en estos.

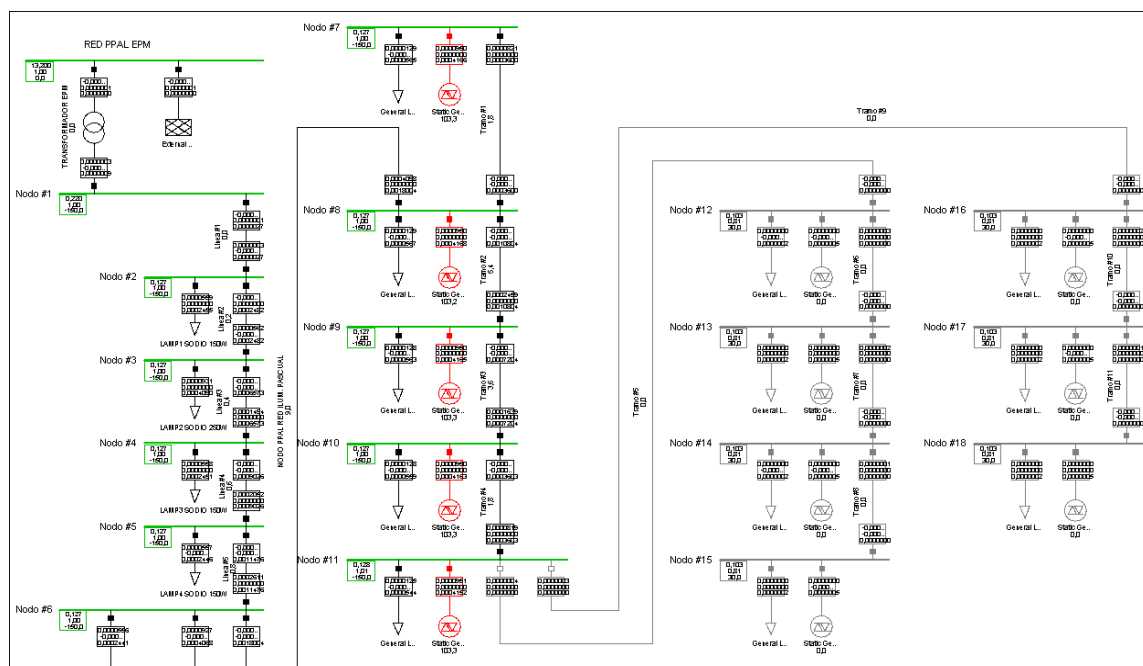


Figura 21. Modelado de microrred

Fuente. Propia

Se modela la red en el software Digsilent como se puede ver en la figura 21, para visualizar el comportamiento de la microrred y obtener datos tales como potencia, corriente, voltaje y su equivalente en p.u, esto con el fin de constatar que los cálculos realizados son correctos y que la instalación será apta para la necesidad planteada en el documento.

6.7 Análisis de datos con generadores solares fuera de funcionamiento.

En primera instancia se evalúa el sistema con los paneles fuera de funcionamiento con el fin de analizar el sistema y poder comparar sus resultados con el sistema interconectado.

Tabla 4.
Resultados Potencia y corriente (paneles inactivos).

Ubicación	Potencia	Potencia	Corriente	Corriente
	(W)	(W)	(A)	(A)
	Extremo 1	Extremo 2	Extremo 1	Extremo 2
Nodo ppal.	0.793	-0.793	0.001001	0.00101
Tramo #1	-0.045	0.045	0.000205	0.000205
Tramo #2	0.883	-0.883	0.000591	0.000591
Tramo #3	0.928	-0.928	0.000387	0.000387
Tramo #4	0.972	-0.972	0.000185	0.000185

Fuente. propia

Tabla 5.
Resultados Voltajes (paneles inactivos).

Ubicación	Voltaje (V) (U11)	Voltaje (V) (p.u)
Nodo #7	127	1.00
Nodo #8	127	1.00
Nodo #9	127	1.00
Nodo #10	127	1.00
Nodo #11	127	1.00

Fuente. propia

6.8 Análisis de datos con generadores solares funcionando.

Así mismo se replantea el modelado mientras sus paneles se encuentran funcionando a máxima potencia y logramos obtener los siguientes resultados

Tabla 6.
Resultados Potencia y corriente (paneles activos).

Ubicación	Potencia	Potencia	Corriente	Corriente
	(W)	(W)	(A)	(A)
	Extremo 1	Extremo 2	Extremo 1	Extremo 2
Nodo ppal.	-409.567	409.763	1.800384	1.800384
Tramo #1	-82.053	82.089	0.359994	0.359994
Tramo #2	-245668	245.896	1.080430	1.080430
Tramo #3	-163.754	163.856	0.720398	0.720398
Tramo #4	-81.647	81.899	0.360318	0.360318

Fuente. propia

Tabla 7.
Resultados Voltajes (paneles activos).

Ubicación	Voltaje (V) (U11)	Voltaje (V) (p.u)
Nodo #7	127	1.00
Nodo #8	127	1.00
Nodo #9	127	1.00
Nodo #10	127	1.00
Nodo #11	127	1.00

Fuente. propia

Según los resultados se evidencia la eficiencia del sistema y que gracias al cable seleccionado se logra obtener caídas de voltaje despreciables obteniendo voltajes iguales a 1 en por unidad (p.u), además, observando el flujo de cargas se puede evidenciar que los paneles funcionando a máxima carga suministran energía a la red, lo cual representa un ahorro económico en el consumo de energía suministrada por EPM.

6.9 Investigación de normatividad que rige el dimensionamiento de los cables

Esto para cumplir ante las diferentes anomalías que se puedan presentar en el sistema.

Para seleccionar correctamente los cables para la conexión de las fuentes que alimentan las lámparas de la futura microrred nos regimos bajo la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050 y el REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS RETIE.

Los cálculos que se realizaron en este documento para el dimensionamiento del conductor, cumplen lo indicado en la norma NTC 2050 (ver Figura 8). Para la selección del conductor se utilizan las fórmulas normalizadas para cálculo de corriente en sistemas monofásicos. Con la fórmula normalizada se calcula la corriente que pasa por el conductor y a partir de ésta, con los datos presentados en la figura 8 se selecciona el calibre.

Una vez definido el calibre, con este dato se procede a realizar el cálculo de caída de tensión para cumplir lo que indica la NTC 2050 en la sección 210-19, inciso a), nota 4: “Los conductores de circuitos ramales como están definidos en la sección 100, con una sección que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5%, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento. Para la caída de tensión en los conductores del alimentador, véase el artículo 215-2”.

El RETIE muestra en el capítulo 3, artículo 20.2 cuales son las exigencias constructivas de los cables y alambres para uso eléctrico, allí se da a entender la importancia de adquirir cables y alambres de calidad por lo cual al momento de comprar los materiales se debió de tener en cuenta que tengan certificación RETIE ya que las exigencias en las pruebas rigurosas de los conductores disminuirán el riesgo de daño en la instalación.

Para efectos de seguridad al realizar las labores de cableado se tuvo que tener en cuenta las 5 reglas de oro mostradas en el capítulo 2, artículo 18.1 del RETIE.

Adicionalmente para evitar accidentes en cuanto a la interpretación del nivel de tensión se debe de cumplir el reglamento de señalización de código de colores para conductores en corriente alterna especificado en la tabla 6.5 del capítulo 1, artículo 6.3 del RETIE, (ver figura 22). En esta ocasión los conductores deben de ser en color negro para la fase, blanco para el neutro y verde para la tierra.

Sistema c.a.	1 Φ	1 Φ	3 Φ Y	3 Φ Δ	3 Φ Δ -	3 Φ Y	3 Φ Y	3 Φ Δ	3 Φ Δ	3 Φ Y
Tensión nominal (voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/277	480 - 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
Conductor activo	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
Fase	Color fase o negro	Color fases o 1 Negro	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo Violeta Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o Gris	No aplica	No aplica	No Aplica
Tierra de protección	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No Aplica
Tierra aislada	Verde o Verde/amarillo	Verde o Verde/amarillo	Verde o Verde/amarillo	No aplica	Verde o Verde/amarillo	Verde o Verde/amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica

Figura 22. Tabla 6.5 Código de colores para conductores c.a.

Fuente. RETIE

En vista que la lámpara tiene una tensión nominal de 24VDC se debe de aplicar el código de colores para conductores en corriente continua, allí se denota que se debe de usar cable de color rojo para la línea positiva y color blanco para la línea negativa (ver figura 23)

Sistema c.c.	Con conductor medio		Sin conductor medio	
	TN-S	TN-C y T-T	TN-S	TN-C y T-T
Conductor positivo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Conductor negativo	Azul	Azul	Blanco	Blanco
Conductor medio	Blanco	Blanco	No aplica	No aplica
Tierra de protección	Verde o Verde/Amarillo	No aplica	Verde o Verde/Amarillo	No aplica

Figura 23. Tabla 6.6. Código de colores para conductores c.c.

Fuente. RETIE

Por último y no menos importante, para aislar los empalmes de los cables eléctricos se deberá de adquirir cinta aislante que cumpla con las especificaciones dadas en el capítulo 3, artículo 20.9 del RETIE, esto con el fin de concordar con las características de los conductores anteriormente mencionados y así evitar daños en la red provocados por puntos calientes en los empalmes y/o derivaciones de conexiones.

6.10 Investigación de normatividad que rige el dimensionamiento de los ductos.

Esto para cumplir ante las diferentes anomalías que se puedan presentar en el sistema. Como se mencionó previamente en los referentes teóricos del presente documento, se cuenta con una tabla dispuesta en la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA donde nos indican el tamaño de

tubería en milímetros y en pulgadas normalizadas comercialmente, y también según el tamaño en AWG o en milímetros cuadrados (mm²) del cable que viajará dentro de ésta, esta información se puede rectificar en la Figura 7.

El RETIE indica en el capítulo 3, artículo 20.6.1.2, inciso a) “En ambientes corrosivos, con humedad permanente o bajo tierra, no se aceptan elementos metálicos para alojamiento de conductores, que no estén apropiadamente protegidos contra la corrosión y que no cumplan con la resistencia al impacto y al aplastamiento requeridas.” por lo cual para la microrred se debe de transportar los cables mediante tubería no metálica y con las exigencias descritas en el artículo 20.6.1 del mismo capítulo, por consiguiente y ligado al inciso a) anteriormente mencionado se debió tener en cuenta la advertencia descrita en el inciso d) “No se podrán usar tuberías no metálicas, en espacios donde por efectos de la carga eléctrica en los conductores, se tengan temperaturas por encima de las tolerables por la tubería.”

6.11 Dimensionamiento de los cables

Con base a la normatividad dimensionar los cables que cumplan para poder ser instalados en la microrred. Teniendo en cuenta los datos recolectados durante el levantamiento de datos se resaltan los siguientes datos pertinentes:

Tabla 8.

Datos técnicos.

Tensión de operación	120V
Carga instalada de cada ramal	35W
Cantidad de lámparas de la microrred	8
Tipo de red	Monofásica trifilar (fase, neutro y tierra)

Fuente. propia

La potencia total instalada sería el producto de entre la potencia de cada lámpara y la cantidad de estas.

$$P = \text{Potencia lámparas} * \text{Cantidad lámparas}$$

$$P = 35W * 8$$

$$P = 280W$$

Para el cálculo de la corriente se remite a la fórmula de para hallar la corriente eléctrica en un sistema monofásico.

Primero se halla la corriente total del sistema para saber que calibre de cable debe de llevar el ramal principal que distribuye la alimentación a cada ramal.

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

$$I = \frac{280W}{120V}$$

$$I = 2.33A$$

Según la tabla 310-16 de la NTC 2050 ya mencionada anteriormente se puede seleccionar un calibre 18 AWG, sin embargo, la norma dice en la sección 336-30 inciso b) “Conductores. Los conductores aislados de fuerza deben ser de uno de los tipos certificados en la Tabla 310-13 y adecuados para circuitos ramales, o identificados para poderlos usar en estos cables. Los conductores de fuerza deben ser de sección transversal 2,08 mm² (14 AWG) a 33,62 mm² (2 AWG) en cobre o de 3,30 mm² (12 AWG) a 33,62 mm² (2 AWG) en aluminio o aluminio recubierto de cobre.” aplicando esto para la línea y el neutro, y adicionalmente para la línea de guarda o más conocida como tierra, nos indica en la sección 800-40 inciso a), nota (3): “Sección transversal. El conductor de puesta a tierra debe ser de una sección transversal no inferior a 2,08 mm² (14 AWG).” por lo cual estas exigencias restringen inmediatamente el uso de cualquier calibre con sección transversal menor a la indicada.

Para cumplir con la regulación del voltaje, se debe de saber la caída de tensión que presentará el cable seleccionado, esto se hace mediante la fórmula de caída de tensión para sistemas monofásicos:

$$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} = Z_{\text{EF}} * 2 * L * I$$

Donde,

$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}}$: Es la caída de tensión en Voltios.

Z_{EF} : Es la impedancia eficaz en Ohm/Km.

L: Es la longitud del circuito en Km.

I: Es la corriente en Amperios.

La Z_{EF} se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Z_{EF} = R \cos \phi + X \sin \phi$$

Donde,

Z_{EF} : Es la impedancia eficaz en Ohm/Km.

R: Es la resistencia a corriente alterna del conductor.

X: Es la reactancia del conductor.

ϕ : Es el ángulo del factor de potencia del circuito.

La resistencia y la reactancia de un conductor se puede extraer del catálogo de cables del fabricante de preferencia, en este caso los datos se extraen de la tabla de resistencia y reactancia para Cables de Cobre de Baja Tensión, ver figura 24.

Resistencia eléctrica c.a. y reactancia inductiva para Cables de Cobre, instalación trifásica para 600V a 60Hz y 75°C. Tres conductores sencillos en tubo conduit					
Calibre AWG / kcmil	Resistencia a corriente alterna R (ohm/km)			Reactancia Inductiva X_L (ohm/km)	
	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de Acero
14	10.17	10.17	10.17	0.190	0.240
12	6.56	6.56	6.56	0.177	0.223
10	3.94	3.94	3.94	0.164	0.207
8	2.56	2.56	2.56	0.171	0.213
6	1.61	1.61	1.61	0.167	0.210
4	1.02	1.02	1.02	0.157	0.197
2	0.623	0.656	0.656	0.148	0.187
1/0	0.394	0.427	0.394	0.144	0.180
2/0	0.328	0.328	0.328	0.141	0.177
3/0	0.253	0.269	0.259	0.138	0.171
4/0	0.203	0.219	0.207	0.135	0.167
250	0.171	0.187	0.177	0.135	0.171
350	0.125	0.141	0.128	0.131	0.164
500	0.089	0.105	0.095	0.128	0.157

Figura 24. Tabla resistencia y reactancia para Cables de Cobre de Baja Tensión.

Fuente. CENTELSA

Para efectos de cumplimiento de norma en cuanto a caída de tensión y teniendo en cuenta que es un gran recorrido de cable, se selecciona el cable calibre 12 AWG y se revisa la figura 24. Tabla resistencia y reactancia para Cables de Cobre de Baja Tensión, se toma el valor de 6.56 Ohm/Km para la resistencia y 0.177 Ohm/Km para la reactancia.

Entonces, asumiendo en el peor escenario con un factor de potencia ($\cos\phi=0.85$; $\text{sen}\phi=0.53$), y volviendo a la fórmula de impedancia eficaz se tiene entonces que:

$$Z_{EF} = R \cos \phi + X \text{ Sen } \phi$$

$$Z_{EF} = (6.56 * 0.85) + (0.177 * 0.53)$$

$$Z_{EF} = 5.6698 \text{ Ohm/Km}$$

La distancia a evaluar sería la más lejana que va desde el poste de alumbrado público hasta la luminaria más lejana en el ramal izquierdo, allí es donde se encontraría la mayor caída de tensión que podría llevar a incumplir el porcentaje de regulación anteriormente mencionado; esta distancia es de 91.6 metros (0.0916 Km) aproximadamente.

Teniendo estos datos completos podemos volver a la fórmula de caída de tensión y saber el resultado.

$$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} = Z_{EF} * 2 * L * I$$

$$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} = 5.6698 * 2 * 0.0916 * 2.33$$

$$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} = 2.42V$$

Para llevar este cálculo a términos porcentuales se calcula mediante la diferencia entre la caída de tensión y la tensión nominal del sistema.

$$\% \text{ Regulación} = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

$$\% \text{ Regulación} = \frac{2.42v}{120} * 100$$

$$\% \text{ Regulación} = 2.02\%$$

Al realizar los cálculos y obtener el resultado del porcentaje de regulación se puede ver que es menor al 3% por lo que se concluye que el calibre 12 AWG es el cable perfecto para la instalación ya que cumple con las características de caída de tensión y garantizará el buen funcionamiento del sistema.

Aplicando estos mismos cálculos a las derivaciones de cada ramal se obtienen los siguientes resultados para un calibre 14 AWG que es el calibre menor que se podría usar por normatividad:

Tabla 9.
Resultados cálculos ramales.

Descripción	Resultado
Tensión de operación	120V
Potencia de la lámpara	35W
Tipo de red	Monofásica trifilar (fase, neutro y tierra)
Distancia	4 metros (0.004 Km)
Corriente de la lámpara	0.292
$\text{Cos}\phi$	0.85
$\text{Sen}\phi$	0.53
Resistencia del cable (R)	10.17 Ohm/Km
Reactancia del cable (X)	0.190 Ohm/Km
Impedancia eficaz (ZEF)	8.75 Ohm/Km
Caída de tensión $\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}}$	0.02V
% Regulación	0.017%

Fuente. propia

Con los resultados obtenidos en la tabla 9, se identifica que podemos usar desde el calibre 14 AWG ya que cumple con el porcentaje de regulación; este cable se puede usar para alimentar desde el ramal principal hasta la fuente conmutada.

6.12 Dimensionamiento de los ductos

Con base a la normatividad se procede a dimensionar los ductos que serán utilizados en la microrred. Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos con el calibre 12 AWG fueron exitosos podemos dimensionar el ducto por el cual viajará el cable seleccionado.

Revisando detalladamente la figura 7. Tabla C11. Número máximo de conductores, se observa que, por medio de un ducto, o más conocido como tubo, de ½ pulgada de diámetro pueden transitar hasta 4 cables de calibre 12 AWG del tipo RHH, RHW, RHW-2, RH, RHH, RHW-2, tal cual se resalta recuadro rojo en la figura 25.

Cabe resaltar que por este ducto solo irán 3 líneas, las cuales son: Fase, neutro y tierra. en caso de no encontrar dicho ducto se puede proceder a adquirir uno de mayor diámetro como ¾

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	7	12	20	34	44	70	104	157	204	262
	3,30	12	6	10	16	27	35	56	84	126	164	211
RHH, RHW, RHW-2	2,08	14	5	9	15	24	31	49	74	112	146	187
	3,30	12	4	7	12	20	26	41	61	93	121	155
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25	10	3	6	10	16	21	33	50	75	98	125
	8,36	8	1	3	5	8	11	17	26	39	51	65
	13,29	6	1	2	4	6	9	14	21	31	41	52
	21,14	4	1	1	3	5	7	11	16	24	32	41

Figura 25. Recorte de pantalla a Tabla C11. Número máximo de conductores de la NTC 2050.
Fuente. Propio

6.13 Cálculo de cantidad de materiales para implementación de ducto con base a los datos obtenidos. Con base en los datos obtenidos del diseño idóneo después de analizar las posibles fallas se elige el ducto adecuado para la instalación de la microrred.

Mediante los levantamientos de datos realizados previamente se logra obtener como resultado un planteamiento de la ruta por donde transitarían los cables y los ductos, así, se logra planear que cantidades y materiales se requieren para construir la nueva instalación, por esto, se ha realizado una lista de materiales con la cual se tiene una evidencia cuantificable, estos elementos se encuentran en la tabla 10.

Tabla 10.

Lista de materiales y equipos.

Material	Cantidad
Tubería ½ pulgada	74 metros
Cable encauchetado 4 x 12 AWG	70 metros
Cable encauchetado 4 x 14 AWG	30 metros
Fuente conmutada 35W, 120Vac/24Vdc	6 unidades
Caja termoplástica IP 65	6 unidades

Fuente. propia

6.14 Compra de materiales para la instalación de la microrred.

Según los datos arrojados para la compra del ducto se investiga y analiza en el mercado los precios más competitivos en relación costo-beneficio y luego coordinar el transporte y descargue de los materiales en el lugar de instalación.

En la tabla 11 se puede observar los valores totales correspondientes a las cantidades mostradas anteriormente; el valor fijado en el total corresponde al costo de los materiales con el IVA incluido para la instalación de la nueva red.

Tabla 11.

Cotización lista de materiales y equipos.

Material	Precio
Tubería ½ pulgada	\$190.750
Cable encauchetado 4 x 12 AWG	\$847.000
Cable encauchetado 4 x 14 AWG	\$222.000
Fuente suicheada 35W, 120Vac/24Vdc	\$312.375
Caja termoplástica IP 65	\$450.000
Total	\$2'022.125

Fuente. propia

7 Conclusiones

- Los paneles solares actualmente instalados están fuera de funcionamiento, según la simulación realizada, estos paneles están en la capacidad de obtener la suficiente energía solar y suplir las exigencias de las luminarias, así mismo como aportar su energía restante; cabe resaltar que se analizan trabajando a plena capacidad.
- Con los resultados arrojados en la simulación notamos la eficiencia del sistema con los cables y ductos seleccionados por lo que la red no presentará problemas.
- La iluminación del sendero propuesto mejoró considerablemente con la mejora, por lo que se entiende que el proyecto ha sido culminado en su totalidad con total satisfacción, erradicando la problemática planteada al inicio del documento

8 Recomendaciones

- Para llevar a cabo un mejor aprovechamiento y uso racional de la energía se debe de contemplar la compra de baterías para la conexión de los paneles solares.
- En caso de adicionar cargas a la microrred se deberán de cambiar las fuentes suicheadas, o en su defecto, adicionar paralelamente fuentes suicheadas para las cargas adicionales que se deseen contemplar.
- Se recomienda instalar una protección para la alimentación por parte de EPM para la microrred, esto con el fin de realizar trabajos futuros sin riesgo eléctrico, así mismo con una seguridad contra sobrecargas y cortocircuitos

9 Referencias bibliográficas

Núñez Palomares, José. (2016). Control de flujo de energía en una microrred eléctrica basada en energías renovables. Verano de la investigación científica. Volumen 2, Numero 1, Pág 1240-1244.

<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1225/851>

Ramon Ducoy, F. Implantación de energías renovables en una planta de producción de amoniaco. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5145/fichero/3.+¿Qué+es+una+microrred.pdf>

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.

Llano G, M. (2015). La micro-red inteligente: una ciudad, en miniatura. Revista Universitas científica.

Eficiencia energética. (2020). ¿Qué son las micro redes y por qué serán importantes?

<https://www.energyavm.es/que-son-las-micro-redes-y-por-que-seran-importantes/>

García, H. Corredor, A. Calderón, L. Gómez, M. (2013) Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia.

https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/331/Repor_Octubre_2013_Garcia_et_al.pdf?sequence=3&isAllowed=y

El mundo registra concentración récord de dióxido de carbono a pesar de la COVID-19. (2020).

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-mundo-registra-concentracion-record-de-dioxido-de-carbono-pesar>

Pascal Peduzzi

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-mundo-registra-concentracion-record-de-dioxido-de-carbono-pesar>

The International Renewable Energy Agency

<https://www.irena.org/solar>

Gerhard Knies

Recuperado de <https://onx.la/4042c>

Voltage stability of electric power system using the program “PSAF”. Ingeniería Energética.
33. 84-93.

recuperado de <https://onx.la/2dcbe>