

**DEFINICIÓN DE COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE UNA MICRO-RED
INTELIGENTE**

DIEGO FERNANDO ZAPATA GARCÍA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

**DEFINICIÓN DE COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE UNA MICRO-RED
INTELIGENTE**

DIEGO FERNANDO ZAPATA GARCÍA

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

MSc. Manuel José Ortiz Rangel

Codirectores:

Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

Ing. Juan Manuel Rey López

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2014

A Dios, mi familia, mis tías y Carmen

Gracias.

Diego Fernando Zapata García

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
ACRÓNIMOS	18
1. DEFINICIONES.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. DEFINICIÓN DE MICRO-RED INTELIGENTE.....	21
2.2. ENERGÍA FOTOVOLTAICA	24
2.3. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA LA PENETRACIÓN DE LAS FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA EN COLOMBIA (DOFA).....	25
2.4. MARCO REGULATORIO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA.....	27
3. IDENTIFICACIÓN DEL ALIMENTADOR DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA	31
3.1. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS QUE DEBE CUMPLIR EL ALIMENTADOR OBJETO DE ESTUDIO.....	31
3.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS GEOGRÁFICAS DONDE SE UBICAN LAS CARGAS SENSIBLES Y CRÍTICAS DENTRO DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	31
3.3. SELECCIÓN DEL ALIMENTADOR CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DEFINIDAS	38
3.4. TOPOLOGÍA COMPLETA DEL ALIMENTADOR SELECCIONADO	41
4. INCORPORACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVAS AL ALIMENTADOR SELECCIONADO	53
4.1. METODOLOGÍA APLICADA PARA LA INCORPORACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA AL ALIMENTADOR.....	53

4.2.	ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE FUENTES ALTERNATIVAS A APLICAR SEGÚN CONDICIONES DE LA ZONA	53
4.2.1.	ENERGÍA SOLAR	53
4.2.2.	ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR GRUPO ELECTRÓGENO A GAS Y/O DIESEL (PARA CASOS DE CONTINGENCIAS).....	56
4.3.	ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE LAS FUENTES ALTERNATIVAS	56
4.4.	CONDICIONES GEOGRÁFICAS AMBIENTALES Y NATURALES LOCALES QUE PUEDEN AFECTAR LA OPERACIÓN DEL SISTEMA.	66
4.4.1.	ANÁLISIS DE FRECUENCIA Y DURACIÓN EQUIVALENTE DE LA INTERRUPTIÓN EN EL SERVICIO (ANÁLISIS FES Y DES).....	66
4.4.2.	NIVEL ISOCERAUNICO DEL ÁREA	67
4.4.3.	DATOS AMBIENTALES EXTRAS QUE PUEDEN INFLUIR EN LOS COMPONENTES DE LA MICRO-RED	68
5.	ANÁLISIS DEL MODELO DE LA MICRORED	70
5.1.	ELEMENTOS NECESARIOS A IMPLEMENTAR PARA CONVERTIR LA RED CONVENCIONAL DE ENERGÍA EN UNA MICRO-RED INTELIGENTE.....	70
5.2.	SIMULACIÓN DEL ESCENARIO RÉGIMEN PERMANENTE DE LA MICRO-RED EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO	74
5.3.	SIMULACIÓN DE CONTINGENCIAS DE LA MICRO-RED EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO	77
5.3.1.	DEFINICIÓN DEL ORDEN DE PRIORIDADES PARA LAS CARGAS.....	77
5.3.2.	SELECCIÓN DEL GRUPO ELECTRÓGENO	79
5.3.3.	LÓGICA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE GESTIÓN DE CARGAS	79
5.3.4.	ANÁLISIS SEGÚN EL TIPO DE CONTINGENCIA	81
	CONCLUSIONES	86
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91

ANEXOS..... 92

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1. Nuevos elementos a integrar en el modelo energético con las Smart grids	22
Figura 2. Mapa de radiación solar global promedio de la región andina Colombiana	23
Figura 3. Código de colores para los tipos de cargas definidas.	32
Figura 4. Cargas señaladas en el norte de Bucaramanga	32
Figura 5. Cargas señaladas en Bucaramanga desde la calle 4 hasta Quebrada seca	33
Figura 6. Cargas señaladas en Bucaramanga desde Quebrada seca hasta la calle 48 ...	33
Figura 7. Cargas señaladas en Bucaramanga desde la calle 48 hasta puerta del sol.	34
Figura 8. Cargas señaladas en Bucaramanga desde puerta del sol hasta el barrio Provenza.	34
Figura 9. Cargas señaladas en Floridablanca desde el barrio Provenza hasta Foscal.....	35
Figura 10. Cargas señaladas en Floridablanca desde Foscal hasta Fundación Colegio UIS.	35
Figura 11. Cargas señaladas en Floridablanca desde Fundación Colegio UIS hasta la Universidad Pontificia Bolivariana.	36
Figura 12. Cargas señaladas en desde el Instituto Colombiano del Petróleo ICP hasta el municipio de Piedecuesta	36
Figura 13. Cargas señaladas en el anillo vial entre los municipios de Girón y Floridablanca.	37
Figura 14. Cargas señaladas en la zona industrial del municipio de Girón.....	37
Figura 15. Cargas señaladas en el municipio de Girón.	38
Figura 16. Fotografía de la Carrera 36 con Calle 51, se observan los centros comerciales Cabecera IV Etapa y la Quinta.....	39
Figura 17. Fotografía Avenida Quebrada Seca con calle 34, se observan partes de la sede administrativa del AMB, el Centro Comercial Megamall y la Quinta Brigada.	39
Figura 18. Fotografía de la Carrera 32 con calle 47 esquina, se observa el Hotel Dann Carlton y el centro empresarial Metropolitan Bussines Park,	40
Figura 19. Infografía del alimentador seleccionado.....	44
Figura 20. Topología completa de la línea 403 del OP.....	45
Figura 21. Vista parcial 1 del mapa digital de la línea 403	46
Figura 22. Vista parcial 2 del mapa digital de la línea 403	47
Figura 23. Consumo promedio en un día del usuario Hotel Chicamocha.....	48
Figura 24. Consumo promedio en un día del usuario Hotel Dann Carlton.....	48
Figura 25. Consumo promedio en un día del usuario Mercadefam	49
Figura 26. Consumo promedio en un día del usuario Carrefour.....	49

Figura 27. Consumo promedio en un día del usuario Discoteca La Calle.	50
Figura 28. Consumo promedio en un día del usuario Cabecera III etapa.	50
Figura 29. Consumo promedio en un día del usuario AMB	51
Figura 30. Consumo promedio total en un día de todos los usuarios con tele medida de la línea 403 del OP	51
Figura 31. Curva de radiación solar promedio diario de los años 2002 a 2008.	57
Figura 32. Vista de perfil de Centro Comercial Megamall	59
Figura 33. Vista de superior de Centro Comercial Megamall.	59
Figura 34. Potencia eléctrica generada por la fuente de energía fotovoltaica	63
Figura 35. Influencia de la curva de demanda de usuarios con tele-medida por el sistema fotovoltaico	64
Figura 36. Muestra del portafolio de productos de la empresa local Try-energy.....	65
Figura 37. Distribución media mensual de tormentas eléctricas en el área metropolitana de Bucaramanga	68
Figura 38. Carta climatológica media mensual del área metropolitana de Bucaramanga.	69
Figura 39. Modelo del sistema de la micro-red.....	73
Figura 40. Resultados de la simulación de la red eléctrica en estado estable	75
Figura 41. Simulación de la red eléctrica en régimen permanente con el software PowerWorld	75
Figura 42. Diagrama lógico del sistema para la gestión de cargas por el sistema.....	81
Figura 43. Simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 1	82
Figura 44. Resultados de la simulación del sistema en caso de la contingencia 1.	82
Figura 45. Simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 2.	83
Figura 46. Resultados de la simulación del sistema en caso de la contingencia 2.	83
Figura 47. Simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 3	84
Figura 48. Resultados de la simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 3	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estado de los recursos renovables en Colombia.....	21
Tabla 2. Análisis DOFA para la penetración de fuentes de energía alternativa en Colombia.	26
Tabla 3. Características mínimas a cumplir por el alimentador objeto de estudio.	31
Tabla 4. Cargas conectadas a la línea de 34,5kV entre las Subestaciones Principal y Conucos.	41
Tabla 5. Cumplimiento de las características mínimas del alimentador seleccionado.	41
Tabla 6. Información básica del alimentador seleccionado.	42
Tabla 7. Información de los transformadores de los usuarios conectados a la línea 403 del OP	42
Tabla 8. Información de los consumo de los usuarios conectados a la línea 403 del OP. 43	
Tabla 9. Proyectos en Fuentes No Convencionales de Energía, Período 1991-2009, pesos constantes 2006	55
Tabla 10. Radiación media diaria de los años 2002 a 2008 del área metropolitana de Bucaramanga	57
Tabla 11. Áreas disponibles de los usuarios para la ubicación de los paneles solares	58
Tabla 12. Potencia eléctrica generada a generar por el sistema solar fotovoltaico.	61
Tabla 13. Análisis de las nuevas potencias de demanda al sistema para los usuarios con tele-medida.....	62
Tabla 14. Indicadores FES y DES del año 2013 de la línea 403 del OP	667
Tabla 15. Elementos de la micro-red y su forma de gestión en el sistema	73
Tabla 16. Tipos de cargas definidos para la simulación.	74
Tabla 17. Características de los tipos de usuarios para definir un sistema tarifario diferencial	77
Tabla 18. Orden de prioridades para las cargas del sistema.....	78

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS.....	92
-------------	----

RESUMEN

TÍTULO: DEFINICIÓN DE COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE UNA MICRORED INTELIGENTE.*

AUTOR: DIEGO FERNANDO ZAPATA GARCÍA.**

PALABRAS CLAVE: Micro-redes, energías alternativas, redes de media tensión.

DESCRIPCIÓN: Este proyecto tiene como objetivo describir los componentes tecnológicos básicos de una micro-red inteligente que permitan evaluar o cuantificar de manera preliminar las alternativas para el mejoramiento de la continuidad del servicio eléctrico en un sistema eléctrico de distribución que cuente con diversidad de cargas con trato preferencial en cargas críticas y sensibles. Incluye la definición de una micro-red inteligente con sus ventajas y elementos básicos característicos, una revisión bibliográfica enfatizada en la línea de investigación del grupo GISEL de la Universidad Industrial de Santander y de la normatividad actual sobre el tema y un análisis de las condiciones ambientales de la zona que puedan afectar la prestación del servicio

Se destaca la aplicación de metodologías para la selección de la red y el tipo de energía renovable a aplicar con el potencial de generación de energía. Se considera también la definición de la ubicación de la micro-red para centralizar el sistema, la definición del estado actual de la red seleccionada, las condiciones de la zona, el análisis de contingencias del sistema con la micro-red en funcionamiento por medio de una lógica que gestione las cargas para la automatización del sistema y unas recomendaciones para la implementación del nuevo sistema.

*Proyecto de grado

**Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Director: Manuel J. Ortiz. Co-directores: Gabriel Ordoñez, Juan M. Rey.

ABSTRACT

TITLE: DEFINITION OF TECHNOLOGY COMPONENTS OF AN INTELLIGENT SMART GRID*

AUTHOR: DIEGO FERNANDO ZAPATA GARCÍA.**

KEYWORDS: Smart grids, alternative energy, medium voltage networks.

DESCRIPTION: This project aims to describe the basic technological components of a smart micro-grid to assess or quantify preliminarily alternatives to improve the continuity of electricity in an electrical distribution system that has variety of loads. It includes the definition of a smart micro-grid with its advantages and basic elements, a literature review emphasized in the research group GISEL at UIS and the current regulations on the subject and an analysis of the environmental conditions of the area that may affect service delivery.

Application of methodologies for the selection of the network and the type of renewable applying the potential energy power generation stand out in this project. Defining the location of the micro-network to centralize the system, defining the current state of the selected network, the conditions of the area, the contingency analysis system with micro-functioning network is also considered by a logic that manages loads for system automation and recommendations for implementing the new system.

*Word degree

**Physical faculty of mechanical engineering. School of electric, electronics and telecommunications Director: Manuel J. Ortiz. Co-directores: Gabriel Ordoñez, Juan M. Rey.

INTRODUCCIÓN

En una sociedad con altos niveles de consumo de energía eléctrica como la nuestra se presentan necesidades específicas que se deben considerar, planear, implementar e integrar con las realidades y capacidades del entorno. Estas necesidades pueden ser la cobertura del servicio eléctrico, la necesidad de sustituir la dependencia de fuentes de energía contaminantes, la revisión de restricciones normativas y reglamentarias para la implementación de fuentes alternativas, entre otros, las cuales varían según la ubicación de los usuarios.

Para el caso puntual, se puede decir que el servicio de energía eléctrica en una ciudad colombiana como Bucaramanga es estable, con gran fiabilidad y con una cobertura del 99,85% en el municipio¹, pero poco se aplica el uso de recursos energéticos amigables con el medio ambiente, los cuales son abundantes en el país gracias a la posición geográfica en la que se encuentra como lo demuestran características como unos buenos niveles de radiación solar todo el año y una gran cantidad de recursos hídricos y geotérmicos disponibles [10].

Factores como el cambio climático y las dificultades del operador de red para ampliar sus redes con nuevas líneas, están forzando la conexión de fuentes de recursos de energía distribuidos a la red eléctrica. Dichas fuentes suelen ser de energías renovables y hoy en día su operación agregada comienza a ser una realidad.

Colombia es un país donde es importante destacar que se encuentra en una franja tropical con altos niveles de radiación, donde la mayor parte de la superficie presenta condiciones que permitirían trabajar con energías alternativas con una disponibilidad de recursos energéticos renovables bastante amplia pero por factores políticos y/o económicos el aprovechamiento no es prioritario y se ve reducido a niveles muy bajos [1].

Observando el panorama mundial, el consumo energético está en aumento y Colombia tiene una proyección de crecimiento anual entre el 2012-2020 de 3,9% [2]. A nivel sectorial se estima que el sector residencial pierde participación frente a los sectores terciario e industrial, debido a que los equipos domésticos modernos se van haciendo cada vez más eficientes, lo cual contribuye al uso racional y eficiente de la energía [3], [4].

Una red de servicio eléctrico estándar integrada con generadores de energías alternativas se le denomina micro-red², en este escenario el sector eléctrico se ha visto principalmente interesado en buscar estrategias para la generación de energía eléctrica a pequeña y mediana escala a través de la implementación de diversas fuentes generadoras de

¹ Información disponible en la página web de la alcaldía municipal de Bucaramanga:
<http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?param=277>

² Término usado por primera vez en los Estados Unidos en 1955 para describir la primera micro-red, cuyo uso fue industrial y generaba 64MW.

energía existentes en la naturaleza (renovables y no renovables) para obtener beneficios relacionados con el medio ambiente, la calidad, el costo y la estabilidad del servicio.

Una micro-red presenta todas las ventajas que conlleva el uso de cada tipo de energía alternativa como lo son una reducción de GEI, el uso de una fuente inagotable de generación y la reducción de pérdidas por transporte de la energía entre otros [21], además una micro-red cuenta con la confiabilidad de calidad de suministro de servicio que presenta la red eléctrica convencional.

La finalidad de este proyecto es realizar un estudio técnico de una red eléctrica de distribución con diferentes tipos de cargas, incluyendo cargas críticas y sensibles con necesidades específicas de calidad de suministro de energía respecto a la continuidad del servicio y cuyo el fin sea compensar con el diseño de una micro-red las mejoras necesarias al sistema.

En este documento se describe el concepto de micro-red, se hace una revisión de la normatividad y del marco regulatorio para la implementación de fuentes alternativas de energía en Colombia y se muestra un estudio de las posibilidades de penetración de este tipo de fuentes de energía en el país, donde una de las principales herramientas es la revisión bibliográfica hecha con énfasis en los trabajos realizados por la línea de investigación del grupo GISEL de la Universidad Industrial de Santander.

También se muestra la metodología aplicada para identificar un alimentador de la red eléctrica de distribución del área metropolitana de Bucaramanga que cumple con unas características mínimas definidas y que concentra cargas con características específicas como lo son las cargas críticas y las cargas sensibles, esto incluye un análisis sobre los perfiles de carga de los usuarios del sistema.

Con el alimentador del sistema de energía eléctrica definido y para incorporar las fuentes de energías alternativas se analiza la capacidad de suministro de dichas fuentes y se describen las condiciones geográficas, ambientales y naturales para tener en cuenta en los componentes de una micro-red.

Finalmente, se analiza el modelo de la micro-red simulando algunos escenarios de gran impacto para el funcionamiento del sistema para comprobar el cumplimiento de parámetros mínimos de funcionamiento del sistema, estas simulaciones incluyen el funcionamiento en régimen permanente y en tres casos de contingencia del sistema definiendo un orden de prioridades para las cargas, además de hacer recomendaciones para la implementación e incentivar la aplicación del nuevo sistema.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Describir los componentes de una micro-red inteligente para un alimentador típico del sistema de distribución de media tensión local con característica de carga mixta. Implica la definición de la topología de la micro-red en ámbitos donde se conjugan sistemas de respaldo energético basado en generadores diesel, a gas y fotovoltaicos. Se involucra una jerarquía de cargas sensibles que garantice mejoras en los parámetros de confiabilidad y calidad del suministro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar un alimentador del sistema eléctrico de distribución del área Metropolitana de Bucaramanga donde se conjuguen cargas de tipo residencial concentradas y cargas sensibles como hospitales, colegios, universidades, etc.
- Modelar el alimentador típico teniendo en cuenta las fuentes alternativas como generadores fotovoltaicos probablemente acumuladores. Incluye la estimación de la capacidad de suministro de las fuentes alternativas y de las fuentes basadas en generadores diesel.
- Elaborar el modelo de una micro-red donde se integren las fuentes, las cargas y los perfiles de demanda característicos. Incluye la automatización de procesos de gestión de cargas sensibles y cargas no críticas.

ACRÓNIMOS

AMB: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

CDMB: Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

CIDET: Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico

CERE: Costo Equivalente Real de la Energía.

COLCIENCIAS: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia.

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas.

DOFA: Análisis Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.

ESSA: Electrificadora de Santander.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GISEL: Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica.

ICP: Instituto Colombiano de Petróleo.

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IPSE: Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las zonas no interconectadas.

MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio.

MME: Ministerio de Minas y Energía.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

OP: Operador de Red.

SIN: Sistema de Interconexión Nacional.

STN: Sistema de Trasmisión Nacional.

UPME: Unidad de Planeamiento Minero Energético.

URE: Uso racional de la energía.

ZNI: Zona No Interconectada.

1. DEFINICIONES

Alimentador de media tensión: La CREG en la resolución 097 de 1998 define los niveles II (de 1 a 30kV) y III de tensión (de 30 a 57,5kV) como el rango de valores permitidos para considerar una instalación como de media tensión para el uso de distribución de la energía eléctrica.

Carga crítica: Aquella que al dejar de funcionar o al funcionar inapropiadamente pone en peligro la seguridad del personal y/o ocasiona grandes perjuicios económicos. Por ejemplo, pérdida del servicio eléctrico en una sala de cirugía donde la vida de una persona se puede poner en riesgo, un paro no programado en un molino de laminación es muy costoso, mientras que la pérdida de un centro de información en un banco o el mal funcionamiento de los sistemas de diagnóstico en un hospital puede ser catastrófico.

Carga sensible: Aquella que requiere de un suministro de alta calidad, esto es, libre de variación de tensión o frecuencia. El equipo electrónico es más susceptible a los disturbios que el equipo electromecánico tradicional.

Confiabilidad: Es la capacidad de un sistema eléctrico de mantener la continuidad del servicio en caso de fallas de alguno de sus componentes o de operaciones inesperadas.

Desarrollo sostenible: Es aquél desarrollo que logra satisfacer las necesidades actuales de generación sin comprometer los recursos y las posibilidades de las futuras generaciones.³

Energía renovable: Energía que está disponible en el medio ambiente por medio de fuentes naturales capaces de regenerarse a sí misma por otros medios.

Fuentes alternativas de energía: Son las fuentes de generación de energía diferentes de las convencionales, generalmente las que no involucran la quema de combustibles fósiles.

Fuentes no alternativas (convencionales) de energía: Son las fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza de forma limitada y que una vez consumidas no pueden sustituirse fácilmente.

Micro-red: Son el tipo de redes que al incorporar tecnología digital permite que exista un flujo de información bidireccional entre generadores y consumidores con el fin de mejorar costos, eficiencia y la confiabilidad de la red eléctrica.

³ Término creado por la Comisión mundial del medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas definido en la declaración de Río en 1992.

2. MARCO TEÓRICO

El uso de la energía ha acompañado las actividades de los seres humanos desde la antigüedad. Las aplicaciones más tempranas se sitúan principalmente en el empleo de fuentes energéticas inagotables en el transporte. La posterior aparición de los molinos de viento reforzaba este concepto. El progreso de las mismas se vio principalmente dejada de lado por el fenómeno de la evolución Industrial, que impulsó la utilización de combustibles fósiles los cuales se veían como un recurso inagotable. Gracias al avance tecnológico, se consideran las energías renovables como un proyecto viable, que brinda un presente productivo, y que apunta a un mejor futuro, con una fuente realmente inagotable de recursos. Actualmente, existen adelantos tecnológicos aprovechan de mejor manera las fuentes energéticas disponibles, además en algunos países se está enfatizando en su desarrollo no solo para cumplir con la creciente demanda energética, sino también como una forma de desarrollo económico [6].

Las energías renovables son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente, frente a los efectos contaminantes y el agotamiento de los combustibles fósiles, lo cual no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno, pero éstos son menores si los comparamos con los principales impactos ambientales generados por las energías convencionales como las cantidades significativas de GEI liberadas que afectan el cambio climático, además que son casi siempre reversibles [7].

Las energías renovables en la plataforma energética nacional, además de ser un tema novedoso, son de gran interés para los próximos años en Colombia. Se han realizado estudios importantes para evaluar los potenciales de fuentes de energía renovables (ver Tabla 1) donde se puede resaltar el gran potencial hídrico y solar del país. Según el informe de Greenpeace⁴ en el 2012, Colombia es un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático. A pesar que el país no es uno de los responsables principales de este problema ya que su contribución llega a tan solo al 0,2% del total de GEI emitidos a la atmósfera. Los datos de los impactos de este país son alarmantes y respaldan lo anterior: la mitad del territorio se vería afectado negativamente debido a cambios en el patrón de precipitaciones (lluvias); la infraestructura turística de la Isla de San Andrés podría desaparecer hasta un 17% y casi la totalidad de los nevados y glaciares desaparecerían completamente; así como, el 75% de los páramos [9], [10].

Colombia tiene una capacidad instalada de energía renovable de 28,1 MW (excluyendo grandes planta hidroeléctricas) que consiste principalmente en energía eólica. El país tiene importantes recursos de generación hidráulica, eólica, y solar que permanecen en gran parte sin explotar [6].

⁴ ONG ambientalista fundada en el año de 1971 en Vancouver, Canadá cuyo objetivo es proteger y defender el medio ambiente, llevando a cabo campañas para detener el cambio climático, proteger la biodiversidad, promover la no utilización de transgénicos, disminuir la contaminación, acabar con el uso de la energía nuclear y el de las armas y la protección de bosques y paisajes naturales.

Energía	Conocimiento del recurso	Comentarios
Solar	- Mapas del recurso anual y mensual	Con potenciales prácticamente constantes durante el año, entre 5 y 6 kWh/m ² , las mejores regiones son la Zona del Magdalena, La Guajira y San Andrés y Providencia.
Biomasa	- Mapa de cobertura vegetal - Estimaciones preliminares	La producción anual de bagazo de caña es de 7.5 millones de toneladas y la de cascarilla de arroz de 457 mil toneladas. Se estima que un relleno sanitario en Bogotá podría generar 11 GWh/año.
Eólica	- Mapa preliminar de vientos	Los mejores sitios, con velocidades normalizadas superiores a 10 m/s, se localizan en el norte del país.
Hidráulica	- Mapa de caídas (basado en el Modelo de Elevación Digital) y caudales (basado en el Balance Hídrico), en el cual se clasifican las regiones según 6 niveles de potencial.	El mayor potencial se ubica en las cordilleras oriental y occidental. Se estima que el potencial colombiano es de 50 GW en proyectos con una capacidad superior a 100 MW. Éste podría llegar a 70 GW cuando se incluyan proyectos de mediana y pequeña potencia.
Geotérmica	- Mapas de recursos geotérmicos - Estudios preliminares de zonas de interés	Los lugares con mayor potencialidad son la zona de la frontera con el Ecuador (en los volcanes Chiles y Cerro Negro), el departamento de Nariño (volcán Azufral), el Parque Natural Nacional de Los Nevados y el área geotérmica de Paipa - Iza en Boyacá.
Maremotriz	- Estudio preliminar	Probablemente existe un potencial disponible de 500 MW en la costa del Pacífico.
Olas	- Estudio preliminar	El potencial de toda la costa sería de 30 GW

Tabla 1. Estado de los recursos renovables en Colombia [10].

2.1. DEFINICIÓN DE MICRO-RED INTELIGENTE

A diferencia de las redes eléctricas tradicionales las redes inteligentes comprenden el sistema de transmisión y distribución, a los generadores y a los usuarios donde incorporando tecnología digital hace que exista un flujo de información bidireccional entre generadores y consumidores [15]. Una micro-red inteligente permite reducir así los costos de generación y transmisión, mejorando al mismo tiempo la eficiencia y la confiabilidad del sistema eléctrico y favoreciendo la integración de sistemas de energías renovables y de almacenamiento.

Mediante una coordinación inteligente de las cargas y de la micro-generación, la micro-red podría suponer menos problemas al operador de la red que la micro-generación convencional. Incluso la micro-red podría proveer servicios auxiliares como control de tensión local. Además, potencialmente, durante eventos de red en la red general, las micro-redes podrían desconectarse y operar autónomamente. Esta operación puede potencialmente aumentar la fiabilidad de suministro al cliente final.

En esta definición, por tanto, esta explícitamente incluida la posibilidad de conexión o desconexión de la micro-red de la red pública de distribución.

La micro-red tiene la posibilidad integrar una red eléctrica y una red térmica para aprovechar las energías renovables y los gases calientes de escape de grupos electrógenos para de esta forma generar calor y energía eléctrica, y así mejorar la eficiencia energética para todo el sistema. Dicha red térmica puede tener aplicaciones industriales, comerciales y residenciales [15].

El concepto de micro-red puede ser implementado tanto en baja como en media tensión, dependiendo de la aplicación, potencia de pico y localización.

El concepto general de micro-red como pequeño sistema eléctrico, ha estado tradicionalmente asociado a localizaciones remotas donde la electrificación no era posible desde el punto de vista técnico, económico o ambiental.

Cambiando la red eléctrica actual, por un nuevo concepto de red futura como se observa en la Figura 1.

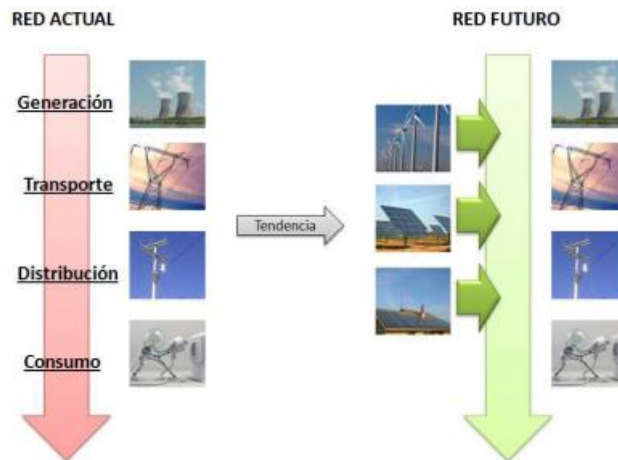


Figura 1. Nuevos elementos a integrar en el modelo energético con las **smart grids** [5].

ELEMENTOS QUE CARACTERÍSTICOS DE UNA MICRO-RED INTELIGENTE.

Considerando la definición de micro-red y su gran variedad de aplicaciones, un subsistema eléctrico de energía eléctrica puede ser identificado como micro-red cuando incluye por lo menos los siguientes elementos:

- Micro fuentes eléctricas o térmicas o unidades de almacenamiento cerca de las cargas (sistemas de generación distribuida).
- Características inteligentes y de control para gestionar la energía generada de forma local (contadores inteligentes y puntos de control).
- La posibilidad de funcionar tanto conectada como aislada de la red pública de distribución.

MICRO-REDES EN DIFERENTES PAÍSES.

Dos micro-redes con componentes de características similares en diferentes países, podrían tener diferentes criterios de diseño como se describe a continuación [15]:

- Estados Unidos: Reducción de costos en escenarios de altos precios de energía, incremento de la fiabilidad de suministro debido a razones de seguridad, y facilidades administrativas con condiciones menos restrictivas para conectar

generadores de menor tamaño con respecto a unidades de generación más convencionales.

- California, el consorcio CERTS, en el que participan varias empresas y centros de investigación, cuenta con una red inteligente operativa desde 2006.
- Canadá: la micro-red BC Hydro Boston Bar, (British Columbia Hydro), 1995. En el ámbito europeo se han creado los consorcios de “Micrigrids” y “MoreMicrogrids” que trabajan en diversos proyectos en el ámbito de las micro redes y en los que participan 22 empresas y centros de investigación de 11 países de la Unión Europea.
- Europa: Reducción de costos de energía y de emisiones de CO₂. Más aún, es una buena solución para la electrificación de áreas rurales o con una electrificación deficiente.
- Portugal: la compañía eléctrica EDP ha introducido una micro-red para modernizar el extremo de una pequeña sección de red radial y comercial.
- Alemania: en Manheim la empresa MW Energie está construyendo una micro-red desde 2011.
- Japón: Reducción de las emisiones de CO₂ y diversificación de las fuentes de energía.
- Japón: Hachinohe y Kyotango varias empresas han implantado sendas micro redes que funcionan desde 2005.

BENEFICIOS DE LAS MICRO-REDES

Juan Pablo Fosati, en su “Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes” [15] define los siguientes beneficios de aplicar una micro-red eléctrica:

- Eficiencia energética: Mediante una planificación y operación adecuada de las unidades de generación y almacenamiento de la micro-red, la generación de electricidad y calor puede compatibilizarse aumentando la eficiencia energética de la instalación. El reto es hacerlo también de una forma económicamente rentable.
- Reducción de emisión de gases de efecto invernadero: mediante el incremento del uso de las unidades de energías renovables, así como las unidades de generación de alta eficiencia, operadas de forma óptima, las emisiones de gases de efecto invernadero serán disminuidas con respecto a las de la generación convencional.
- Reducción de los costes de energía. Gracias al incremento del uso de fuentes renovables y las capacidades de inteligencia y control de la micro-red, el operador planificará la operación de las fuentes de generación y almacenamiento, dependiendo de los actuales precios de gas y electricidad, condiciones climáticas y su previsión. Más aún, la micro-red favorece la agregación de la generación eléctrica distribuida y su participación en el mercado eléctrico realizando ofertas de potencia activa y/o servicios auxiliares.
- Mejora de la Calidad de Suministro. Las actuales redes eléctricas en Europa tienen una buena calidad de suministro. Sin embargo, existen usuarios que necesitan mayores niveles de calidad de onda y fiabilidad, y por ello adquieren

soluciones personalizadas. Otra posibilidad, para el caso de un evento en la red pública de distribución, es desconectar la micro-red de la red y trabajar de forma aislada hasta que el problema en la red se resuelva. En ese caso, dependiendo de la capacidad de potencia de los generadores y de las cargas, algunas de ellas deberían seleccionarse como críticas y con alta continuidad de suministro. Las cargas críticas que son alimentadas por la micro-red aislada en ese caso, quizás, deberían admitir niveles de calidad de onda más relajados para su funcionamiento.

- Minimización de pérdidas eléctricas: Dado que las unidades de generación dispersas operan cerca de las cargas, son evitadas las pérdidas eléctricas en las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

2.2. ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

La generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos es una de las energías renovables más analizadas y con mayor recurso en la actualidad, ya que aprovecha no solo la capacidad térmica de la radiación, sino también las propiedades cuánticas de la luz [16], [17].

POTENCIAL SOLAR DE LA REGIÓN

Existe gran potencial de este recurso en el país, dada su localización entre latitudes 5 grados de latitud Sur (Leticia) y 13,5 grados de latitud Norte (San Andrés), un régimen de radiación solar con muy poca variación durante el año, y con promedios diarios mensuales que varían de región a región entre 4 kWh/m² y 6 kWh/m² según el Atlas de Radiación Solar de Colombia. Si se comparan estos valores con los de regiones de máxima radiación a nivel mundial (por ejemplo, desierto del Sahara), encontramos que el país tendría entre el 58% y el 85% de estos valores máximos. [8]

Las regiones con potencial más elevado son la Costa Atlántica al norte del país, especialmente La Guajira, la región de Arauca y parte del Vichada, las regiones de los valles del río Cauca y del río Magdalena y la región insular de San Andrés y Providencia. La región andina, específicamente en el departamento de Santander cuenta con un promedio diario multi-anual cercano a 4,5 kWh/m² (ver Figura 2) lo que hace de este tipo de energía renovable sea una muy buena opción de generación alternativa [11].

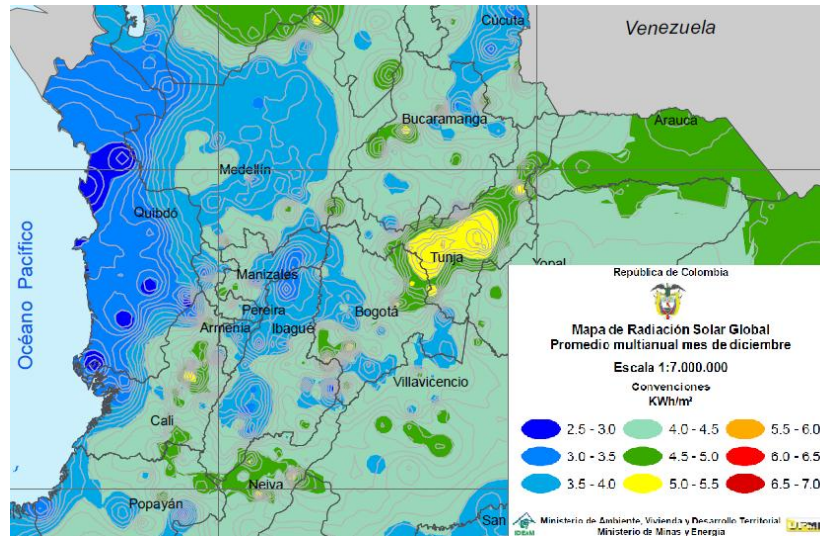


Figura 2. Mapa de radiación solar global promedio de la región andina Colombiana [13].

2.3. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA LA PENETRACIÓN DE LAS FUENTES ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA (DOFA)

En la Tabla 2 se muestra un análisis DOFA para la penetración de las fuentes de energías alternativa en Colombia realizado por la UPME en su plan de desarrollo para las fuentes de energías no convencionales en Colombia [8].

Se observa que la energía solar en el país se encuentra con muchas posibilidades de desarrollo y se muestra la energía eólica como una alternativa poco rentable debido a la baja velocidad de circulación del aire en la zona geográfica del país.

Oportunidades	Amenazas
<p>Existen incentivos tributarios para promover estas tecnologías.</p> <p>Sustitución de generación convencional en ZNI con combustible diesel por generación con fuentes de energías alternativas.</p> <p>Los precios de las tecnologías están descendiendo rápidamente</p> <p>La generación a partir de fuentes de energías alternativas, puede mejorar la calidad y la confiabilidad en el servicio en las ZNI.</p> <p>En las ZNI la regulación reconoce una mayor rentabilidad a las fuentes de energías alternativas.</p>	<p>La regulación existente, no contribuye a la entrada de las fuentes de energías alternativas.</p> <p>El MDL⁵ como un posible mecanismo de apoyo económico a los proyectos de fuentes de energías alternativas.</p> <p>Incertidumbre en la futura regulación para la entrada de las fuentes de energías alternativas.</p> <p>Un alto potencial del mercado para fuentes de energías alternativas se encuentra en las ZNI, sin embargo esta población presenta la menor capacidad de pago en el país.</p>
Fortalezas	Debilidades
<p>Certeza de excelente dotación de recursos en fuentes de energías alternativas (Solar, Biomasa).</p> <p>La energía solar y eólica evidencia complementariedad frente a la disponibilidad del recurso hídrico en periodos de verano y fenómeno del Niño.</p> <p>Al no requerir combustibles para la generación, existe certidumbre total en los costos de los proyectos, por lo cual las fuentes de energías alternativas ofrecen precios a largo plazo estables y predecibles, sin la volatilidad que presentan las fuentes fósiles.</p> <p>La cogeneración en la industria azucarera a partir de Bagazo, compite en costos con la Hidroelectricidad y generación térmica a gas y/o diesel.</p> <p>Para la energía solar y eólica la tecnología es de carácter modular, facilitando las economías de escala y el crecimiento en la capacidad instalada.</p> <p>Ambientalmente limpias con muy reducidas emisiones de GEI.</p> <p>Las instituciones colombianas tienen experiencia, y apoyan iniciativas enfocadas en las fuentes de energías alternativas (IPSE, UPME, COLCIENCIAS, SENA).</p> <p>Altos costos de implementación y mantenimiento de las soluciones de fuentes de energías alternativas para las ZNI, frente al SIN.</p>	<p>Falta de recurso humano calificado para fuentes como Eólica, Solar, Geotermia y Océanos.</p> <p>Variabilidad de la generación de las fuentes de energías alternativas a lo largo del año. La energía solar, eólica no son energías firmes.</p> <p>Las condiciones actuales del mercado financiero son una barrera a la entrada de las fuentes de energías alternativas.</p> <p>Necesidad de altas inversiones iniciales y tasas de retorno del capital por debajo de lo esperado como consecuencia de los altos precios de kWh generado.</p> <p>Altos costos de implementación y mantenimiento de las soluciones de fuentes de energías alternativas para las ZNI, frente al SIN.</p> <p>Bajo potencial de velocidad de circulación del aire en la región comparado con el potencial de otras zonas del planeta donde es más rentable su aplicación.</p> <p>Reducida información de las fuentes de energías alternativas y dificultad de acceso a esta (recursos, evaluación de tecnologías y de proyectos, Investigación).</p> <p>Si bien las subastas de Cargo por Confiabilidad no tienen prelación por fuentes o tecnologías específicas, si existe un marcado sesgo en el incremento de la capacidad de generación hídrica en el país.</p>

Tabla 2. Análisis DOFA para la penetración de fuentes de energía alternativa en Colombia.

⁵ El MDL es un mecanismo definido en artículo 12 del Protocolo de Kyoto suscrito en el 2008, con el fin de facilitar el cumplimiento de metas para la reducción de los GEI por parte de los países industrializados y las empresas y ayudar los otros actores a lograr un desarrollo sostenible.

2.4. MARCO REGULATORIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA.

A continuación se presenta una descripción del marco regulatorio para la implementación de fuentes de energías alternativas en el país realizado por la UPME en su en su plan de desarrollo para las fuentes de energías no convencionales en Colombia [8].

La generación de energía eléctrica en Colombia se encuentra organizada en una bolsa, donde los generadores con capacidad instalada mayor a 20MW realizar una oferta de precios y horarios para cada día. El precio de la bolsa es fijado para cada hora según el ofertante escogido que cumpla las condiciones de operación que haya hecho la oferta de menor precio. Este sistema considera también remuneraciones por confiabilidad del sistema que reconoce la capacidad del generador para operar en situaciones críticas y situaciones de largo plazo.

Actualmente en el país, las fuentes de energías alternativas (eólica, solar, geotérmica, entre otras) no tienen regulación del cargo por confiabilidad debido a que no es factible asegurar un consumo dado con un tiempo de anticipación. En estas condiciones las plantas de fuentes de energías alternativas mayores a 20 MW no tendrán oportunidad de competir en bolsa.

Las plantas no despachadas centralmente y los cogeneradores no reciben ingresos por cargo por confiabilidad, pero los valores recaudados por componentes CERE cuyo valor se encuentra incluido en el precio de venta de la energía hacen parte de sus ganancias y no debe ser devolverlo al sistema como sí lo deben hacer las plantas despachadas centralmente.

Actualmente la CREG ha venido evaluando el tema de la generación distribuida para estudiar la forma de incluir el concepto al SIN, ya que actualmente el consumidor debe pagar un cargo por uso del STN sin importar el lugar donde se genere la energía consumida.

NORMATIVIDAD PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA.

El CIDET en al año 2012 hace un breve resumen de normatividad de energía solar térmica y fotovoltaica vigente en Colombia citando a su vez artículos y beneficios tributarios que generan una idea de la política que se maneja en el país para la implementación de este tipo de energía [11]

El ICONTEC ha publicado normas sobre energía solar. A continuación se presenta un breve resumen de cada norma técnica colombiana, indicando su fecha de actualización y el contenido de la norma,

NTC 2775, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES (24/8/2005):

Esta norma sólo contiene definiciones referentes a sistemas fotovoltaicos, acordes con la simbología establecida en la norma NTC 1736.

No incluye ningún tipo de clasificación de los sistemas fotovoltaicos, ni ningún tipo de especificación sobre los mismos. Sólo define conceptos como arreglo fotovoltaico, batería, potencia pico, celda fotovoltaica, corriente de carga, eficiencia de conversión, oblea, respuesta espectral, silicio poli-cristalino, entre otros términos muy generales.

NTC 5627, COMPONENTES DE ACUMULACIÓN, CONVERSIÓN Y GESTIÓN DE ENERGÍA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. CALIFICACIÓN DEL DISEÑO Y ENSAYOS AMBIENTALES (29/10/2008):

La actual norma establece algunos requisitos para la clasificación del diseño, de los componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Se centra principalmente en componentes solares específicos tales como baterías, inversores (onduladores), controladores de carga, conjuntos de diodos, radiadores, limitadores de tensión, cajas de conexiones y dispositivos de rastreo del punto de máxima potencia, pero puede aplicarse a otros componentes complementarios del sistema.

Por otro lado se presenta la calificación de los sistemas fotovoltaicos, basado en lo especificado por la norma NTC 2883 y NTC 5464.

La norma también muestra una secuencia de ensayos para determinar las características de funcionamiento de cada componente, como: inspección visual, ensayo de funcionamiento, de comportamiento, de aislamiento, exposición a la intemperie, vibración, choque, radiación ultravioleta, húmeda – congelación, entre otros.

- Beneficios Tributarios

Son muy pocos los beneficios que hasta ahora se han otorgado en el país para la implementación de sistemas basados en energía solar, se han propuesto algunos incentivos para la promoción de estas tecnologías e ir afianzando la energía solar en el territorio colombiano, como un método de divulgación y aceptación técnica y comercial.

A continuación se presentan algunos beneficios que se han otorgado para la implementación de energías renovables o limpias en Colombia.

Actualmente la ley 788 de 2002 otorga incentivos tributarios (exención de renta por 15 años) para proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero con la venta de energía generada a partir de biomasa, eólica o de residuos agrícolas por parte de empresas generadoras y exención de IVA para la importación de maquinaria y equipos

relacionados con proyectos de reducción de emisiones de GEI, se hace necesario ampliar estas coberturas a otras fuentes como la geotermia, los océanos y al aprovechamiento de la energía solar, fotovoltaica y térmica para calentamiento de agua en edificaciones, incentivos que ya funcionan en otras latitudes. También se requiere ampliar estas coberturas a los cogeneradores.

En el Estatuto Tributario se hace relación a lo siguiente:

ARTICULO 158-2. Deducción por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente:

Las personas jurídicas que realicen directamente inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente, tendrán derecho a deducir anualmente de su renta el valor de dichas inversiones que hayan realizado en el respectivo año gravable, previa acreditación que efectúe la autoridad ambiental respectiva, en la cual deberán tenerse en cuenta los beneficios ambientales directos asociados a dichas inversiones.

El valor a deducir por este concepto en ningún caso podrá ser superior al veinte por ciento (20%) de la renta líquida del contribuyente, determinada antes de restar el valor de la inversión.

Artículo 428. Importaciones que no causan impuesto:

i) La importación de maquinaria y equipos destinados al desarrollo de proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción de emisiones de carbono y que contribuyan a reducir la emisión de los gases efecto invernadero y por lo tanto al desarrollo sostenible.

Por otra parte, el proyecto de acuerdo No. 162 de 2008, "Por medio del cual se establecen unos incentivos tributarios para quienes modifiquen sus fuentes de generación de energía tradicional a energías alternativas renovables y limpias para generar energía eléctrica y para quienes implementen mecanismos de aprovechamiento óptimo y uso racional y eficiente de energía tradicional que disminuyan el impacto ambiental", hace referencia a lo siguiente:

Para los usuarios directos (que tengan celdas solares en su poder), el beneficio está en que una vez adquiridas las celdas, no se volverá a pagar más dinero (a excepción del mantenimiento) por kWh, contrario a lo que pasa con la energía eléctrica normal, la cual tiene un costo mensual de acuerdo al número de kWh consumidos.

La ley 697 de 2001 "mediante el cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones" contempla lo siguiente:

Artículo 9: Promoción del uso de fuentes no convencionales de energía.

El Ministerio de Minas y Energía formulará los lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas.

Artículo 10. El Gobierno Nacional a través de los programas que se diseñen, incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales, ya sea con destino a la venta directa al público o a la producción de otros implementos, orientados en forma específica a proyectos en el campo URE, de acuerdo a las normas legales vigentes.

3. IDENTIFICACIÓN DEL ALIMENTADOR DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

3.1. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS QUE DEBE CUMPLIR EL ALIMENTADOR OBJETO DE ESTUDIO.

Para la selección de un alimentador del sistema eléctrico de media tensión que resulte ser óptimo para ser objeto de estudio, se consideraran las características mínimas que debe cumplir definidas en la Tabla 3, aquí se consideran varios puntos descritos en el diseño de alcance de la auditoría definido por la CREG [14] para el servicio de distribución eléctrica, además se incluyen elementos nuevos a considerar para poder aplicar el concepto de micro-red.

Características mínimas a cumplir por el alimentador objeto de estudio.
1. Cumplimiento de Condiciones Iniciales.
1.1. Se tiene una vinculación de usuarios a transformadores y circuitos permanente.
1.2. Se tiene un Sistema de Gestión de la Distribución, en funcionamiento.
1.3. Posee una tele-medición de al menos el 90% de los elementos de corte y maniobra instalados en cabecera de circuito.
2. Cumplimiento de Responsabilidades y Obligaciones del OR del esquema de Incentivos y Compensaciones.
2.1. Mantiene Asignación de códigos de circuitos y transformadores.
2.2. Mantiene Vinculación actualizada de usuarios a transformadores y circuitos.
2.3. Mantiene Vinculación de transformadores y alimentadores a circuitos.
2.4. Mantiene Geo-referencia actualizada de todos los elementos de su red reportados.
3. Cumplimiento de características de las cargas para una aplicación de micro-red.
3.1. Tiene al menos un 20% de usuarios cuya carga este definida como crítica o sensible.
3.2. Se encuentra ubicada en un área donde se facilite la generación de algún tipo de energía alternativa.

Tabla 3. Características mínimas a cumplir por el alimentador objeto de estudio.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS GEOGRÁFICAS DONDE SE UBICAN LAS CARGAS SENSIBLES Y CRÍTICAS DENTRO DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

Para identificar el alimentador que cumpla con las características deseadas como lo es tener conectadas cargas críticas y cargas sensibles, se dispone de un mapa digital de las diferentes zonas del área metropolitana donde se encuentran señalados los tipos de cargas que son del interés de estudio. En la Figura 3 está el código de colores que se usó para señalar el uso final de la carga y en las Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 están señaladas dichas cargas en las diferentes zonas del área metropolitana de Bucaramanga. El mapa del área metropolitana de Bucaramanga fue obtenido por medio de la herramienta Google Maps.

- Tipos de carga
- Complejo de salud ○
 - Complejo Industria ○
 - Complejo Comercial ○
 - Complejo educativo ○
 - Complejo deportivo ○
 - Complejo hotelero ○

Figura 3. Código de colores para los tipos de cargas definidas.

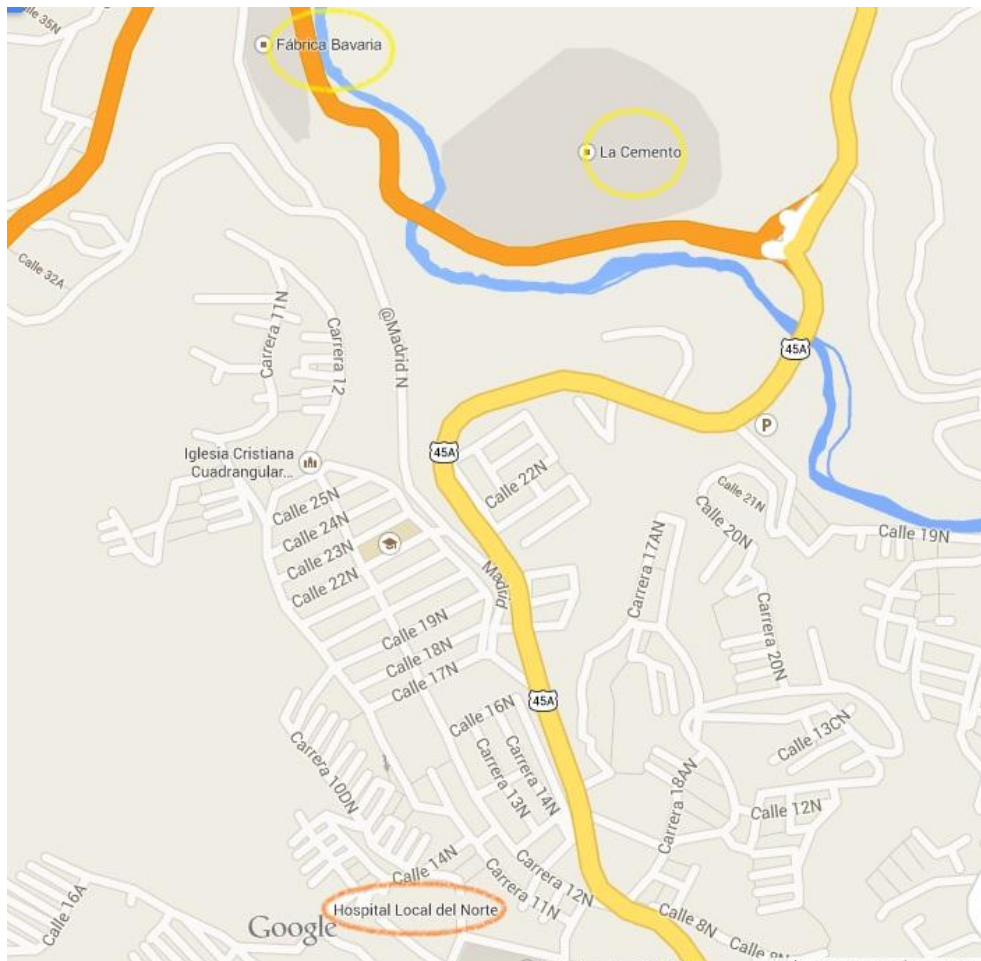


Figura 4. Cargas señaladas en el norte de Bucaramanga.

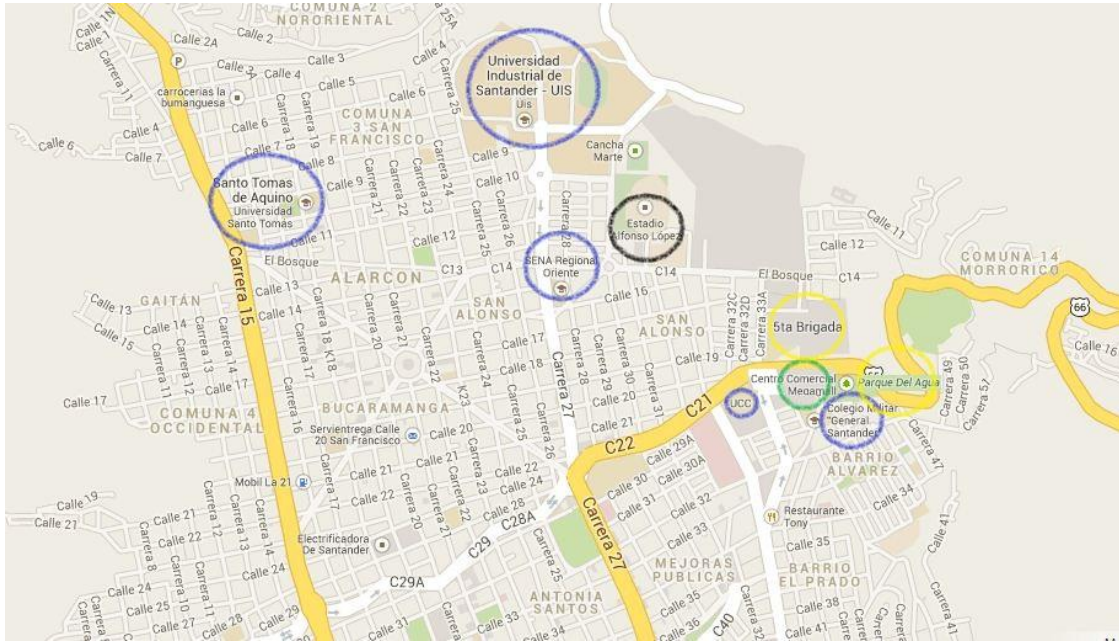


Figura 5. Cargas señaladas en Bucaramanga desde la calle 4 hasta Quebrada seca.

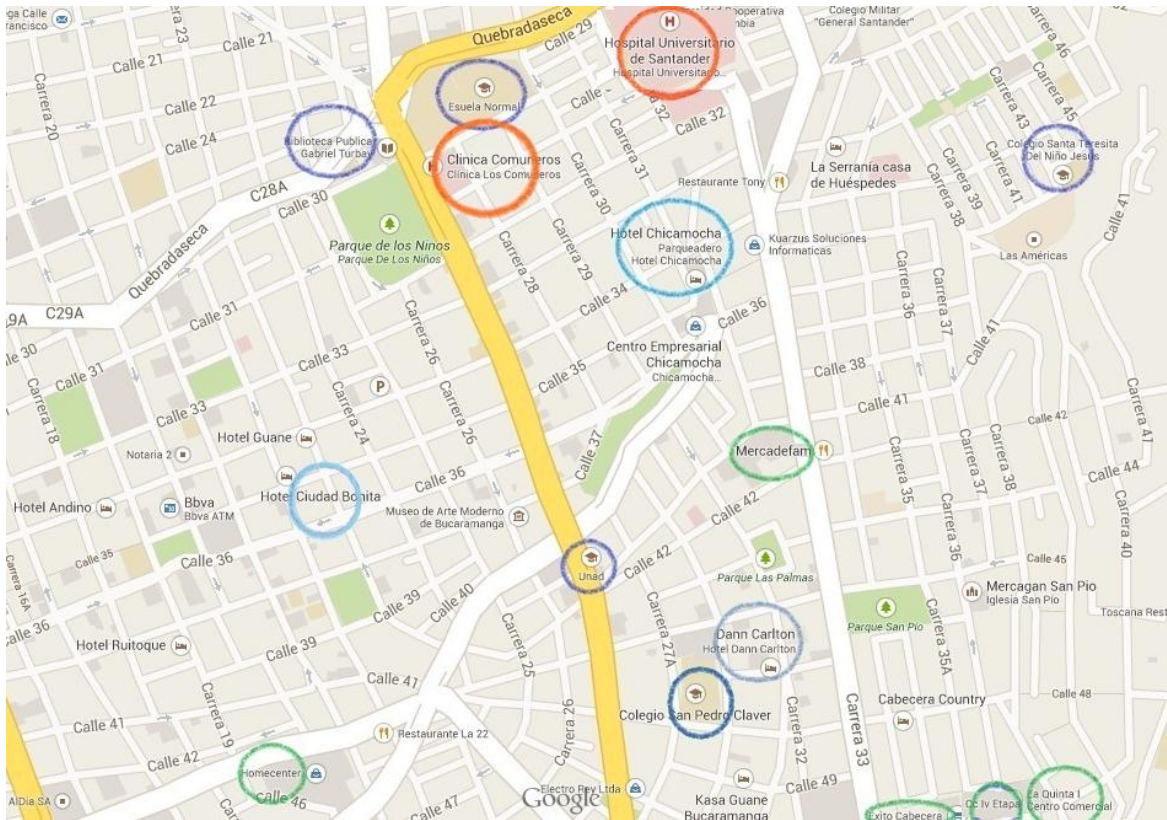


Figura 6. Cargas señaladas en Bucaramanga desde Quebrada seca hasta la calle 48.

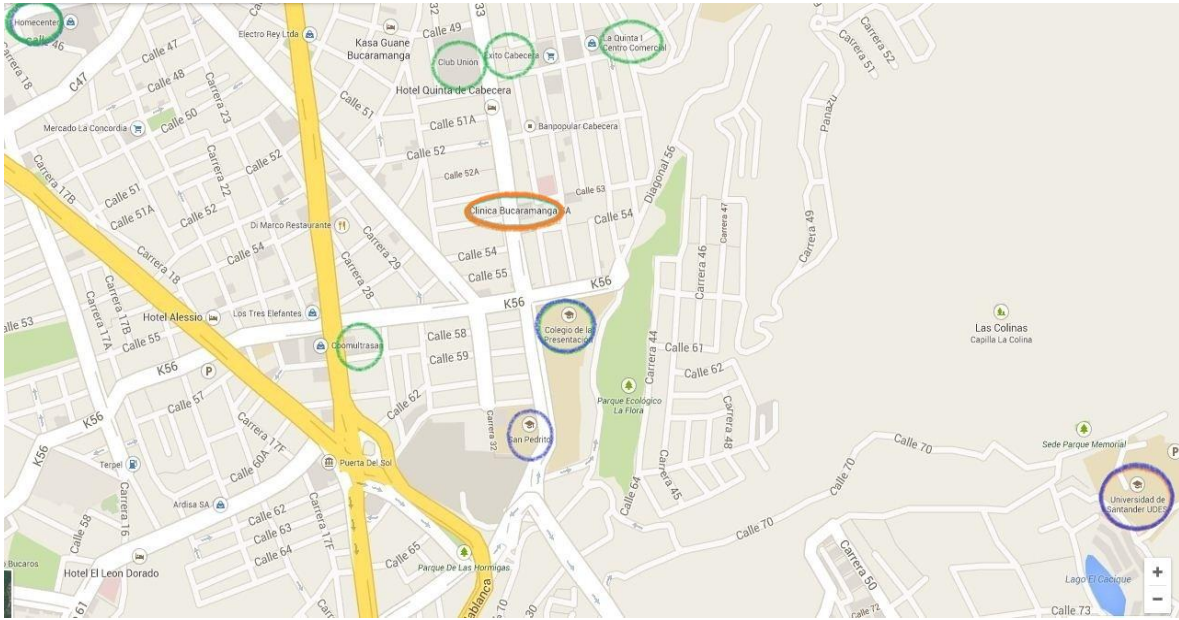


Figura 7. Cargas señaladas en Bucaramanga desde la calle 48 hasta puerta del sol.

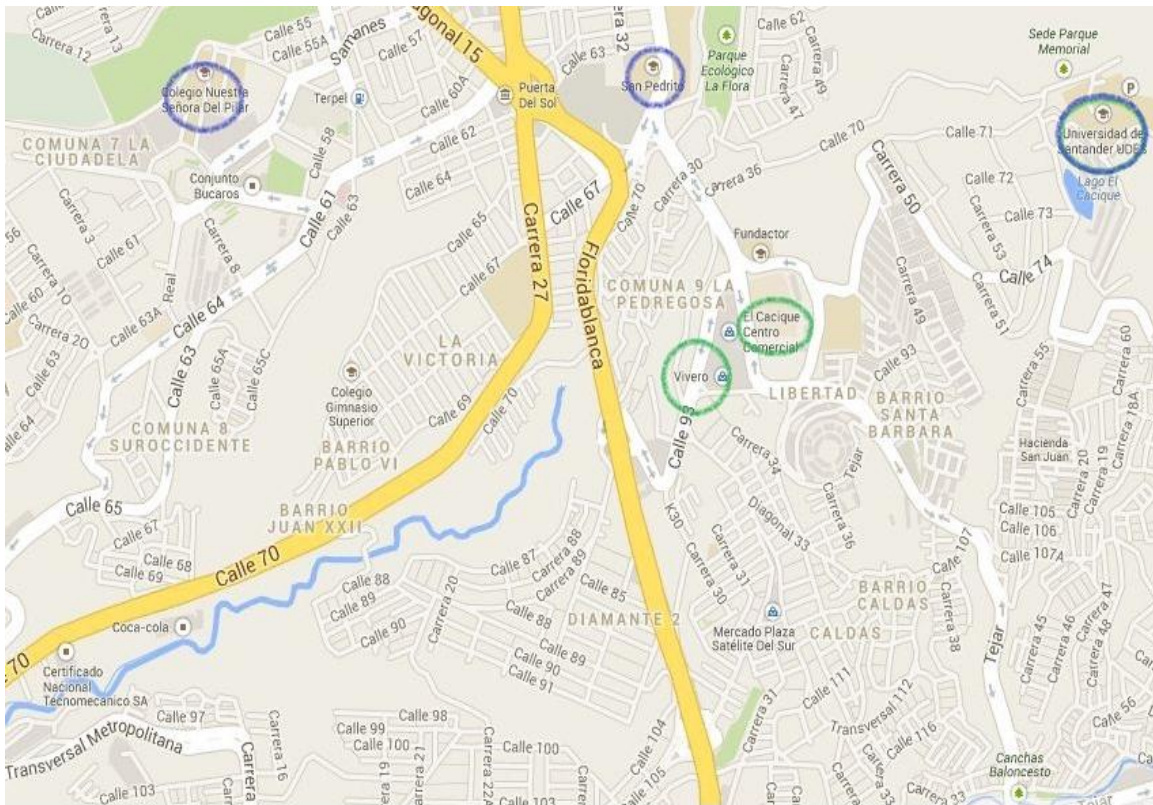


Figura 8. Cargas señaladas en Bucaramanga desde puerta del sol hasta el barrio Provenza.

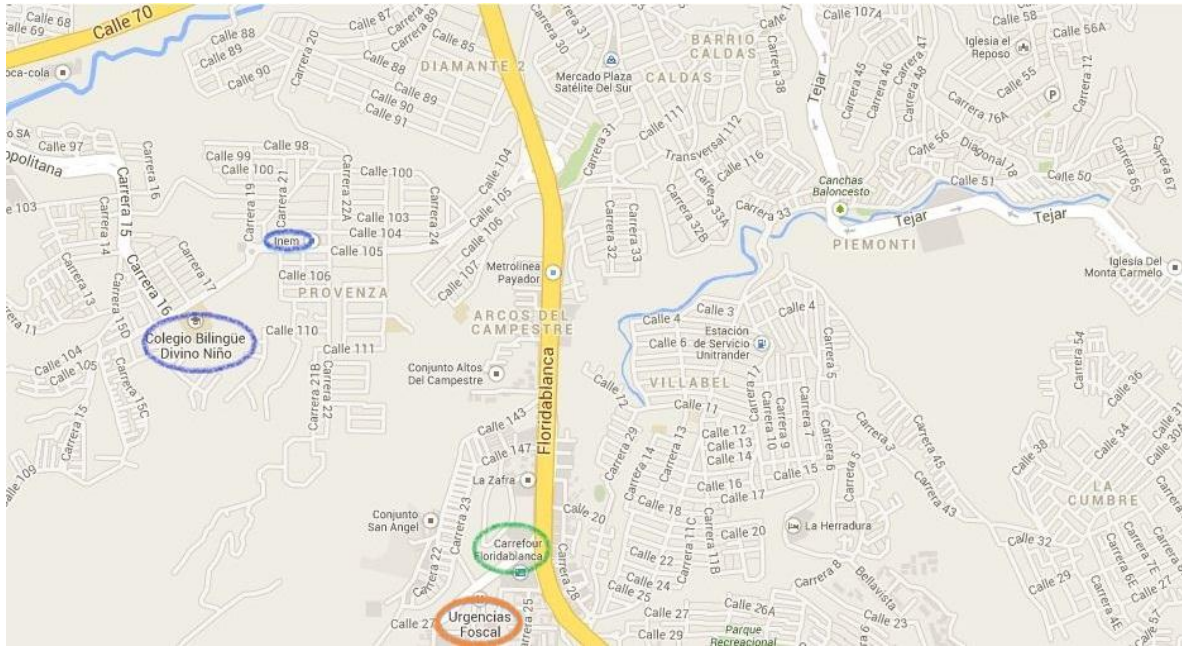


Figura 9. Cargas señaladas en Floridablanca desde el barrio Provenza hasta Foscá.

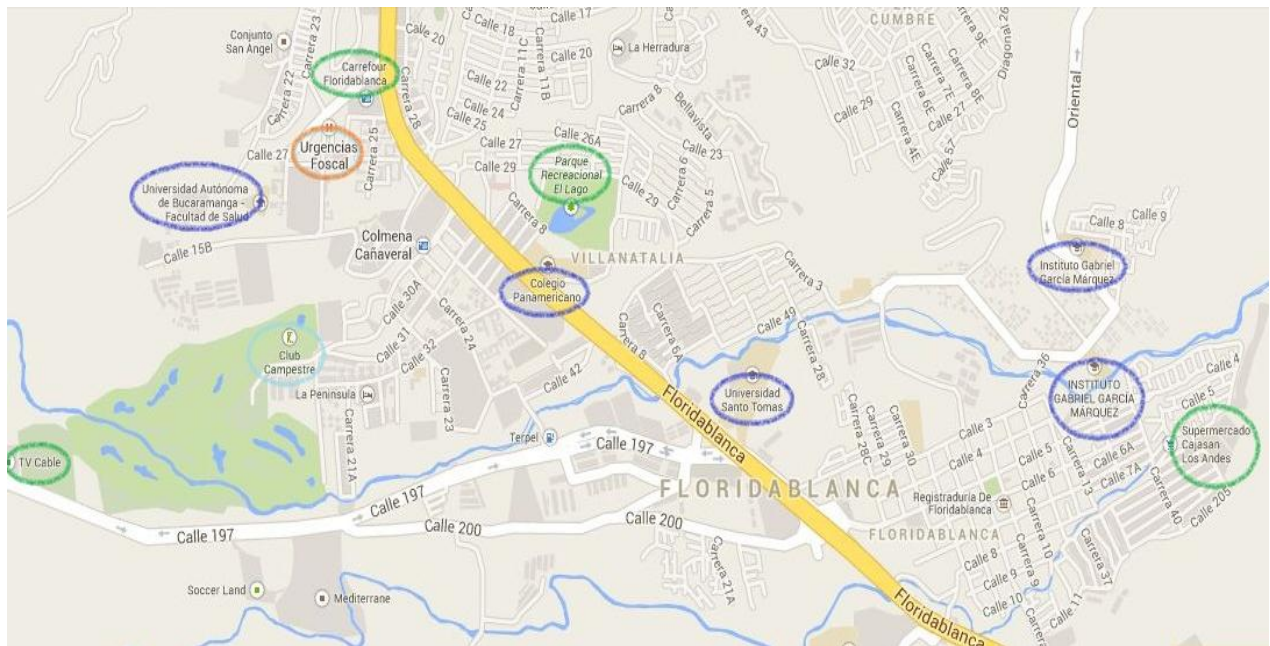


Figura 10. Cargas señaladas en Floridablanca desde Foscá hasta Fundación Colegio UIS.



Figura 11. Cargas señaladas en Floridablanca desde Fundación Colegio UIS hasta la Universidad Pontificia Bolivariana.

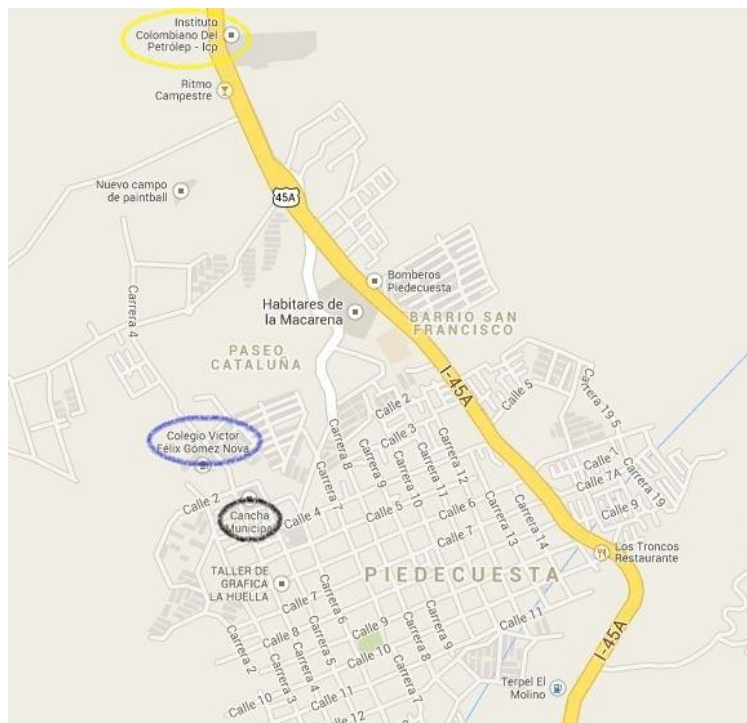


Figura 12. Cargas señaladas en desde el Instituto Colombiano del Petróleo ICP hasta el municipio de Piedecuesta.

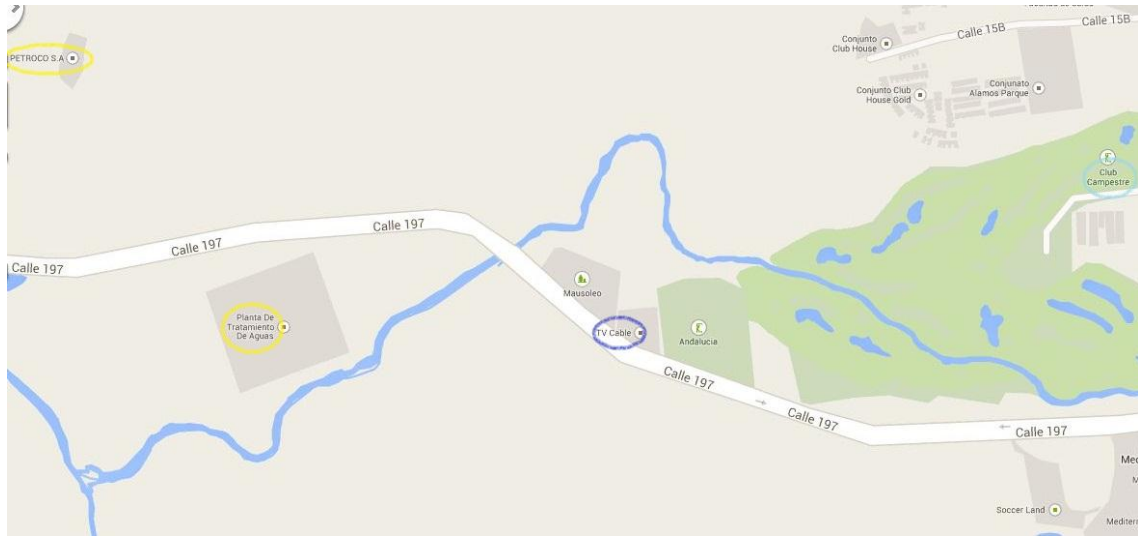


Figura 13. Cargas señaladas en el anillo vial entre los municipios de Girón y Floridablanca.



Figura 14. Cargas señaladas en la zona industrial del municipio de Girón.

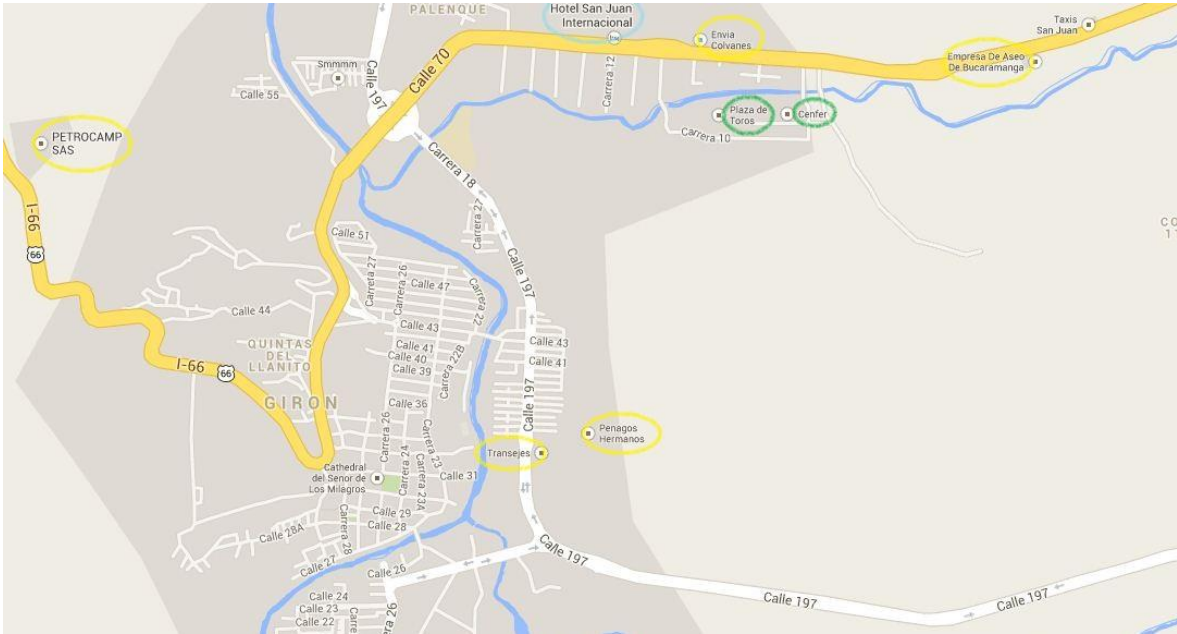


Figura 15. Cargas señaladas en el municipio de Girón.

3.3. SELECCIÓN DEL ALIMENTADOR CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DEFINIDAS.

Para la selección del alimentador de media tensión, hay que considerar que no todas las cargas se encuentran conectadas al mismo nivel tensión, ni que todas las cargas están conectadas al mismo alimentador.

Al hacer un análisis de la ubicación geográfica de las cargas señaladas, se puede observar que la zona de mayor concentración de dicho tipo de cargas se encuentra en la carrera 33 del municipio de Bucaramanga, en el cual se encuentran los niveles de tensión: nivel II y III (13,2kV y 34,5kV respectivamente).

Al alimentador a nivel II se encuentra conectada en su mayoría la carga residencial de esta zona y de sus zonas aledañas, pero en el alimentador de nivel III encontramos la gran mayoría de cargas señaladas en el gráfico. Así este alimentador no tenga cargas residenciales⁶, la prioridad del estudio son las cargas críticas y sensibles por lo tanto este alimentador es el escogido para desarrollar el estudio de este proyecto. En la Figura 16, 17 y 18 se pueden observar algunos ejemplos de las cargas objetivo cuya red de distribución de energía es subterránea obtenidos a partir de la herramienta Google Street View.

⁶ Por disposición del OP las cargas residenciales solo van conectadas al nivel II de tensión.



Figura 16. Fotografía de la Carrera 36 con Calle 51, se observan los centros comerciales Cabecera IV Etapa y la Quinta.



Figura 17. Fotografía Avenida Quebrada Seca con calle 34, se observan partes de la sede administrativa del AMB, el Centro Comercial Megamall y la Quinta Brigada.



Figura 18. Fotografía de la Carrera 32 con calle 47 esquina, se observa el Hotel Dann Carlton y el centro empresarial Metropolitan Bussines Park.

El alimentador de nivel III que pasa por esta zona es de tipo enmallado y se encuentra entre las subestaciones Conucos y Principal, en la cual las cargas conectadas se encuentran en la Tabla 4.

Tipo de carga	Dirección
Salud	CRA 33A 18 HOSPITAL MILITAR QUINTA BRIGADA
Hotelera	CRA 31 34 27 HOTEL MELIA CONFORT CHICAMOCHA
Hotelera	CLL 47 28 73 HOTEL DANN CARLTON
Educativo	CLL 30A 33 51 ALVAREZ-UCC
Otros	CRA 35A 49 55 CC CUARTA ETAPA CABECERA DISCOTECA LA CALLE
Comercial	CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 1
Comercial	CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 2
Comercial	CLL 41 31 120 CCO MERCADEFAM LTDA
Comercial	CRA 33A 34 URB GALAN AVD Q SECA-MEGAMALL
Comercial	CRA 35A 49 55 CCIAL 4TA ETAPA CABECERA

Comercial	CRA 36 49 45 CCC CABECERA V ETAPA
Administrativo	CLL 32 44 3 QUINTA BRIGADA
Administrativo	CENTRO COMERCIAL METROPOLITAN BUSINESS PARK CRA 33 45-52
Comercial	CRA 35 51 63 CABECERA DEL LLANO III ETAPA
Otros	CLL 42 29 57 MERCADEFAN CABECERA LOCALES
Administrativo	CLL 32 44 3 SEDE ADMINISTRATIVA AMB

Tabla 4. Cargas conectadas a la línea de 34,5kV entre las Subestaciones Principal y Conucos. [Autor]

En la Tabla 5 se verifica el cumplimiento de las características mínimas definidas para la selección del alimentador.

Características mínimas a cumplir por el alimentador objeto de estudio.	Cumple
1. Cumplimiento de Condiciones Iniciales.	✓
1.1. Se tiene una vinculación de usuarios a transformadores y circuitos permanente.	✓
1.2. Se tiene un Sistema de Gestión de la Distribución, en funcionamiento.	✓
1.3. Posee una telemedición de al menos el 90% de los elementos de corte y maniobra instalados en cabecera de circuito.	✓
2. Cumplimiento de Responsabilidades y Obligaciones del OR del esquema de Incentivos y Compensaciones.	✓
2.1. Mantiene Asignación de códigos de circuitos y transformadores.	✓
2.2. Mantiene Vinculación actualizada de usuarios a transformadores y circuitos.	✓
2.3. Mantiene Vinculación de transformadores y alimentadores a circuitos.	✓
2.4. Mantiene Geo-referencia actualizada de todos los elementos de su red reportados.	✓
3. Cumplimiento de características de las cargas para una aplicación de micro-red.	✓
3.1. Tiene al menos un 20% de usuarios cuya carga este definida como critica o sensible.	✓
3.2. Se encuentra ubicada en un área donde se facilite la generación de algún tipo de energía alternativa.	✓

Tabla 5. Cumplimiento de las características mínimas del alimentador seleccionado. [Autor]

3.4. TOPOLOGÍA COMPLETA DEL ALIMENTADOR SELECCIONADO.

La parte fundamental de la información suministrada por el OP⁷, se encuentra en las Tablas 6, 7, 8 y 9 y las Figuras 20, 21 y 22 las cuales especifican datos básicos de la línea, de los transformadores y los consumos de los usuarios, entre otros datos relevantes (ver anexo A):

⁷ El operador de red encargado de la zona es la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. el cual es el único operador de red de distribución eléctrica del departamento.

Nombre referencia de línea	LN 403 CONUCOS-PRINCIPAL
Nivel de tensión	34,5 kV
Cantidad de apoyos	181
Longitud de línea	7,94 km
Número de tramos	259
Capacidad instalada	15,94 MW
Cantidad de transformadores en uso	17

Tabla 6. Información básica del alimentador seleccionado. [ESSA]

USUARIO	TIPO TRANSFORMADOR	RELACIÓN TRANSFORMACIÓN	POTENCIA TRANFO kVA	CÓDIGO TRANFO	CÓDIGO APOYO	CÓDIGO MEDIDOR
CRA 33A 34 URB GALÁN AVD. Q SECA-MEGAMALL	TRIFÁSICO PEDESTAL	34.5 / 0.22 KV	1250	161894	1113771	13009038
CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 1	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	1250	7777795	2829649	36110226
CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 2	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.44 KV	1600	116512	2829649	13008891
CLL 41 31 120 CCO MERCADEFAM LTDA.	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	500	102264	2539977	13008863
CLL 47 28 73 HOTEL DANN CARLTON	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	800	102285	2404311	5077004
CRA 29 45 45 CABECERA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	1000	135582	4040147	5084632
CRA 36 49 45 CCC LA QUINTA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	800	161210	1139223	70520115
CLL 32 44 3 SEDE ADMINISTRATIVA AMB	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	300	161340	2408406	-----
CRA 33A 18 HOSPITAL MILITAR QUINTA BRIGADA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	630	469861	3769712	4600027818
CRA 31 34 27 HOTEL MELIA CONFORT CHICAMOCHA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	630	100321	2408511	4600028644
CLL 32 44 3 QUINTA BRIGADA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	630	115010	2408406	5086976
CRA 35A 49 55 CCIAL 4TA ETAPA CABECERA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	750	161208	1150057	13008967
CLL 30A 33 51 ÁLVAREZ - UCC	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	800	100843	2347270	13008956
CRA 33 45-52 METROPOLITAN BUSSINES PARK	TRIFÁSICO PEDESTAL	34.5 / 0.22 KV	1000	7780360	1101285	-----
CLL 42 29 57 MERCADEFAM LOCALES	TRIFÁSICO PEDESTAL	34.5 / 0.44 KV	400	115189	2923378	-----
CRA 35 51 63 CABECERA DEL LLANO III ETAPA	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	750	103183	1139240	-----
CRA 35A 49 55 DISCOTECA LA CALLE	TRIFÁSICO CAPSULADO EN ACEITE	34.5 / 0.22 KV	400	103191	1150057	-----

Tabla 7. Información de los transformadores de los usuarios conectados a la línea 403 del OP. [ESSA]

USUARIO	CONSUMO MENSUAL ⁸ [kW-h]	PORCENTAJE CONSUMO	TIPO DE MEDIDOR	TIPO DE CARGA
CRA 33A 34 URB GALÁN AVD. Q SECA-MEGAMALL	539.430,69	24,09%	Macro medidor	Sensible
CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 2	238.466,88	10,65%	Macro medidor	Sensible
CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 1	222.507,69	9,94%	Tele medida	Sensible
CLL 41 31 120 CCO MERCADEFAM LTDA.	181.567,71	8,11%	Tele medida	Sensible
CLL 47 28 73 HOTEL DANN CARLTON	180.361,62	8,06%	Tele medida	Sensible
CRA 29 45 45 CABECERA	148.859,08	6,65%	Macro medidor	Sensible
CRA 36 49 45 CCC LA QUINTA	134.246,15	6,00%	Macro medidor	Sensible
CLL 32 44 3 SEDE ADMINISTRATIVA AMB	98.984,88	4,42%	Tele medida	Sensible
CRA 33A 18 HOSPITAL MILITAR QUINTA BRIGADA	98.963,08	4,42%	Macro medidor	Critica
CRA 31 34 27 HOTEL MELIA CONFORT CHICAMOCHA	93.776,00	4,19%	Tele medida	Sensible
CLL 32 44 3 QUINTA BRIGADA	83.505,46	3,73%	Macro medidor	Sensible
CRA 35A 49 55 CCIAL 4TA ETAPA CABECERA	73.935,00	3,30%	Macro medidor	Sensible
CLL 30A 33 51 ÁLVAREZ - UCC	62.861,54	2,81%	Macro medidor	Sensible
CRA 33 45-52 METROPOLITAN BUSSINES PARK	39.235,23	1,75%	Macro medidor	Sensible
CLL 42 29 57 MERCADEFAM CABECERA LOCALES	35.907,46	1,60%	Macro medidor	Sensible
CRA 35 51 63 CABECERA DEL LLANO III ETAPA	4.234,16	0,19%	Tele medida	Sensible
CRA 35A 49 55 DISCOTECA LA CALLE	2.184,02	0,10%	Tele medida	Sensible
Consumo total línea	2.239.026,65	100%		

Tabla 8. Información de los consumo de los usuarios conectados a la línea 403 del OP. [ESSA]

En la Figura 19 se analiza el consumo porcentual de cada usuario del sistema del alimentador seleccionado, considerando el consumo total de todas las cargas conectadas al alimentador. La Figura es suministrada por el autor del documento.

⁸ La información de consumo suministrada por el OP es únicamente de potencia activa mensual y/o por hora en algunos casos, la información de potencia reactiva no fue suministrada por el OP (ver anexo A).

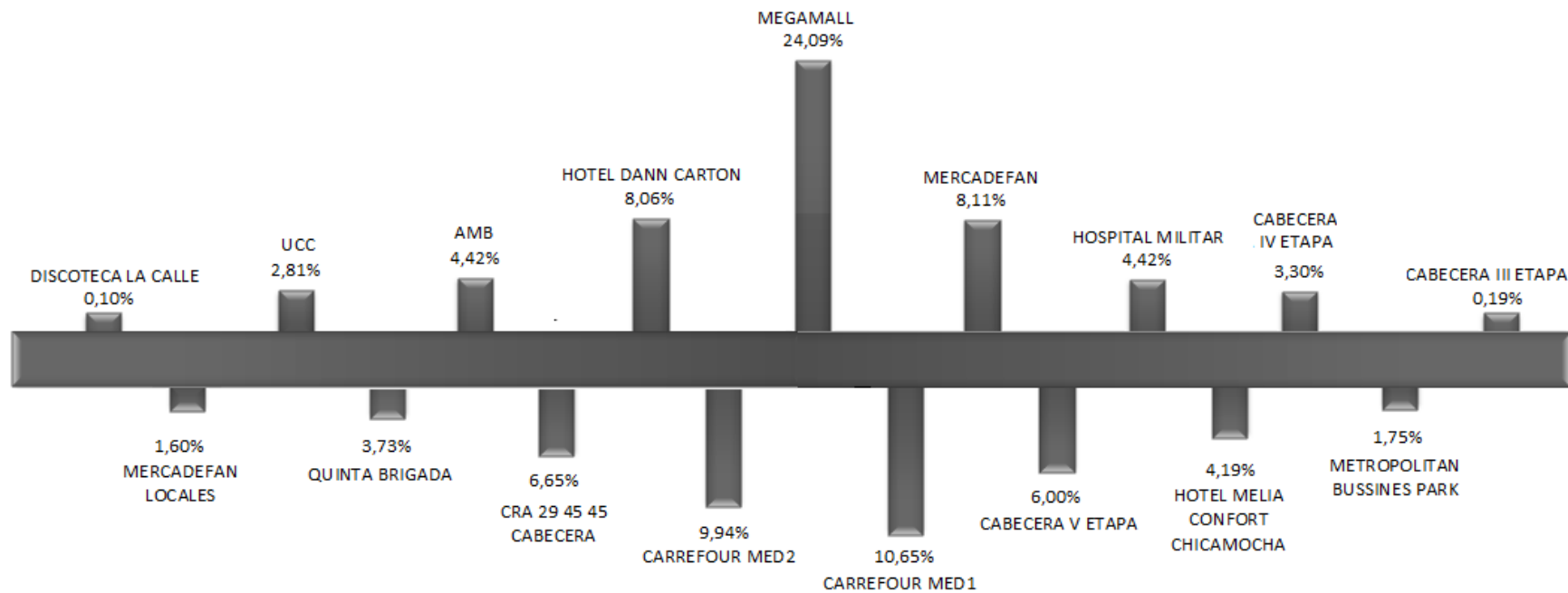


Figura 19. Infografía del alimentador seleccionado.

En las Figura 20, 21 y 22 se encuentran el mapa digital con la topología completa del alimentador donde se están referenciadas las subestaciones Principal (en color cian), Conucos (en color amarillo), las líneas de distribución (en color verde) y la ubicación de los transformadores (triángulos de color rojo).

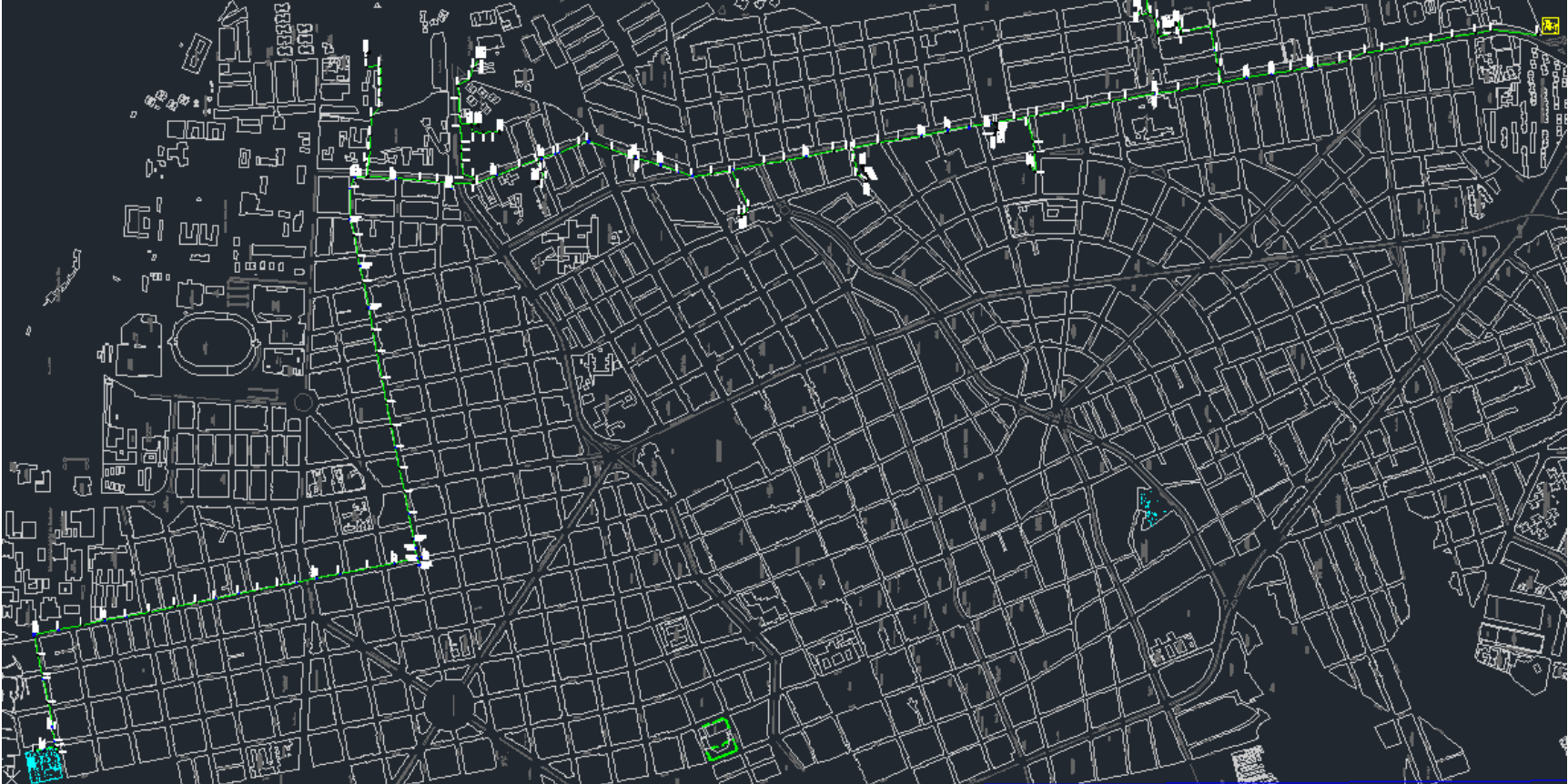


Figura 20. Topología completa de la línea 403 del OP. [ESSA]

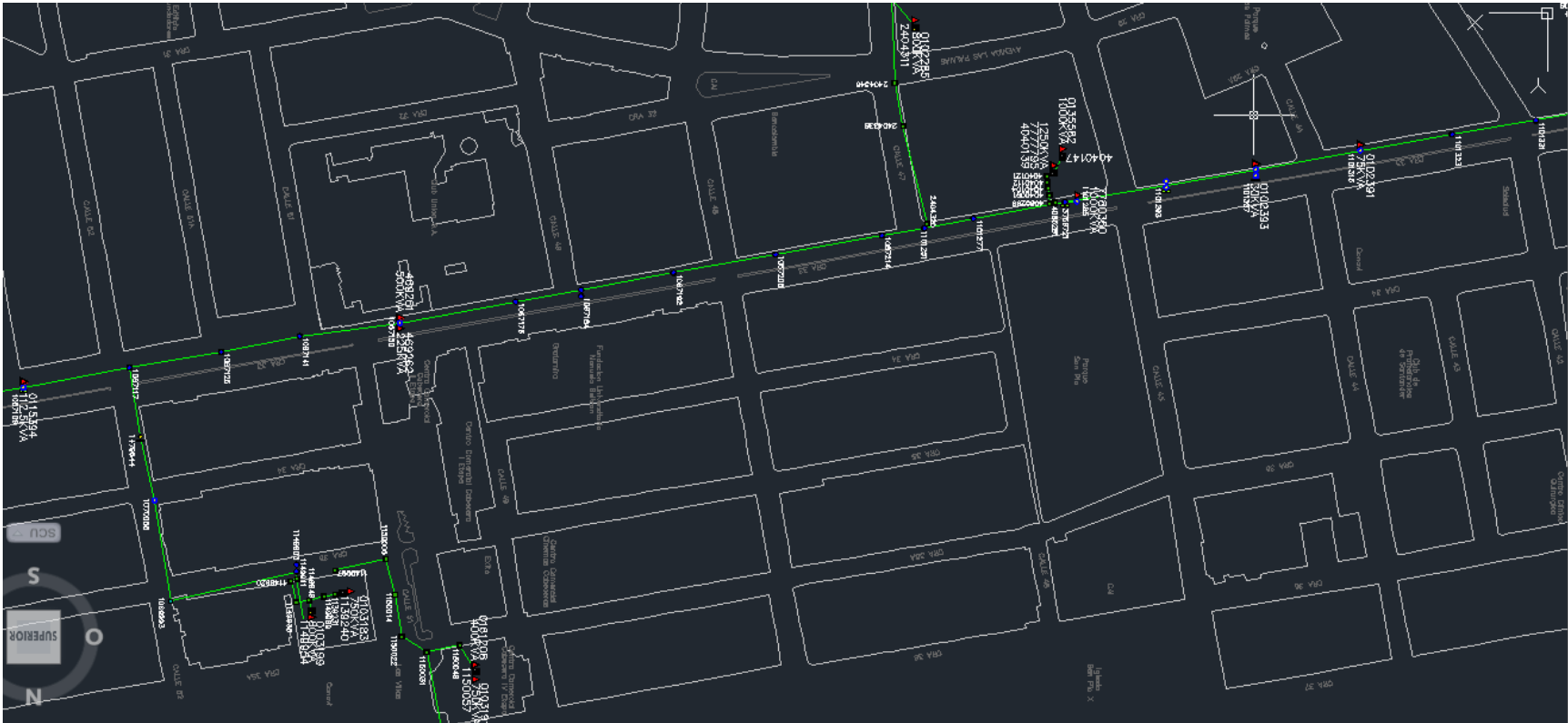


Figura 21. Vista parcial 1 del mapa digital de la línea 403. [ESSA]

PERFILES DE CARGA DE ALGUNOS USUARIOS

Para los usuarios que tiene medición por tele medida, el OP cuenta con la información de su consumo hora por hora, en las Figuras 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 se observan los consumos de potencia activa en kW promedio por cada hora de consumo de cada usuario que cuente con este tipo de medida. Todas las gráficas están en kW-h vs hora del día y fueron creadas con la información suministrada por la ESSA el cual es el OP de la zona.

Consumo promedio Hotel Chicamocha

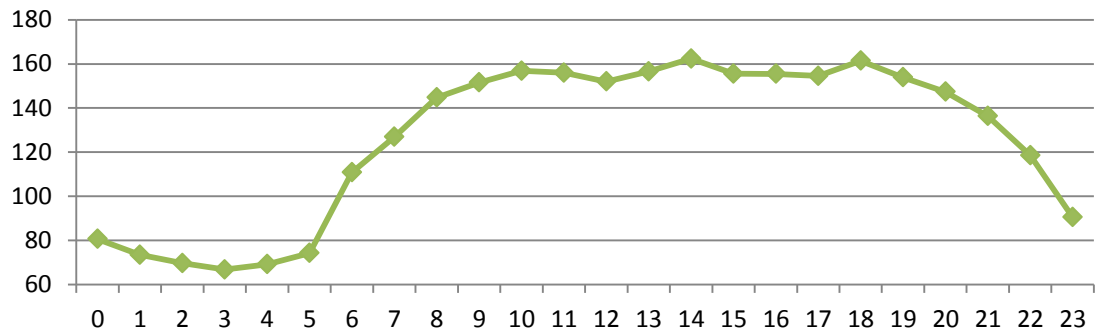


Figura 23. Consumo promedio en un día del usuario Hotel Chicamocha.

Consumo promedio Hotel Dann Carlton

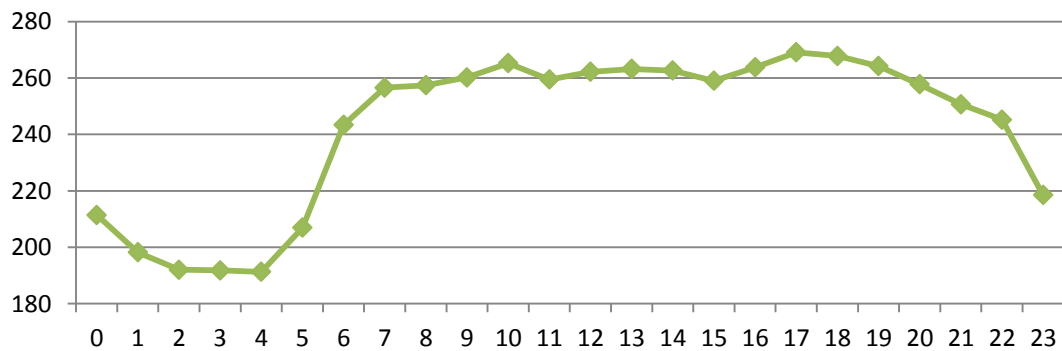


Figura 24. Consumo promedio en un día del usuario Hotel Dann Carlton.

Las Figura 24 y 25 muestran el consumo promedio por hora por tele-medida de los usuarios de cargas del tipo hoteles que se caracterizan por un consumo pico continuo desde las 6 am hasta aproximadamente las 7 pm y el resto de horas se consideran horas valle.

Consumo promedio Mercadefam

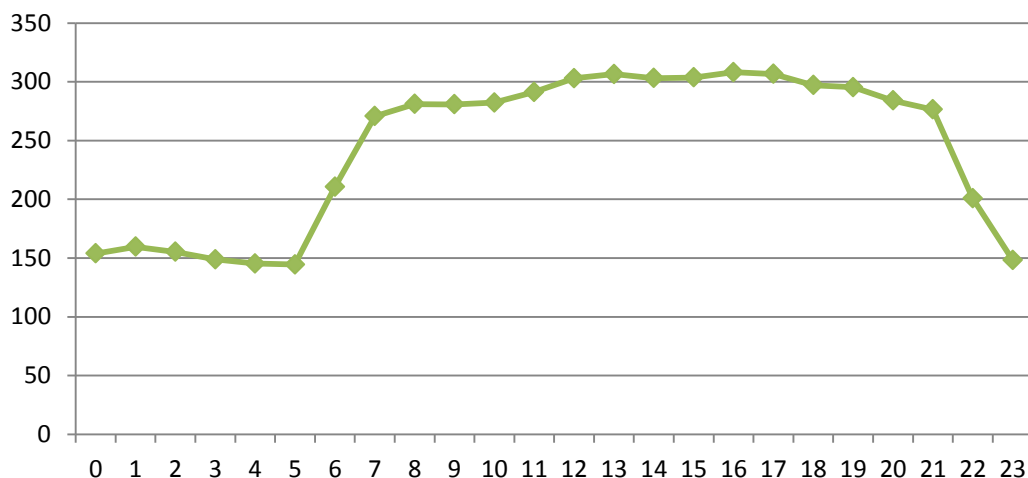


Figura 25. Consumo promedio en un día del usuario Mercadefam.

Consumo promedio Carrefour medidor 2

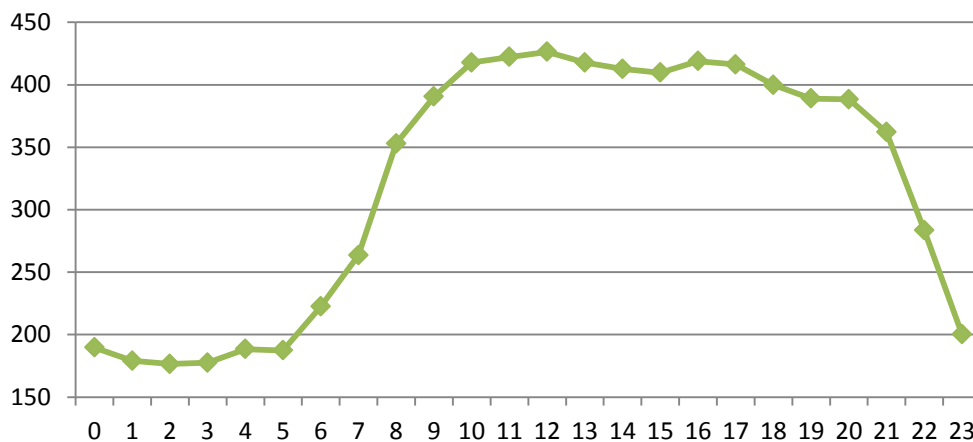


Figura 26. Consumo promedio en un día del usuario Carrefour medidor 2.

En las cargas de tipo Comercial, la Figura 25 y la Figura 26 muestran los consumos promedio por hora por tele-medida de los usuarios Mercadefam y Carrefour medidor 2 cuyo uso comercial son cargas de supermercados y muestran igualmente un consumo pico continuo desde horas tempranas de la mañana (7 am y 8 am respectivamente) hasta las 9 pm, el resto de horas se consideran horas valle del consumo de los usuarios.

Consumo promedio Discoteca La Calle

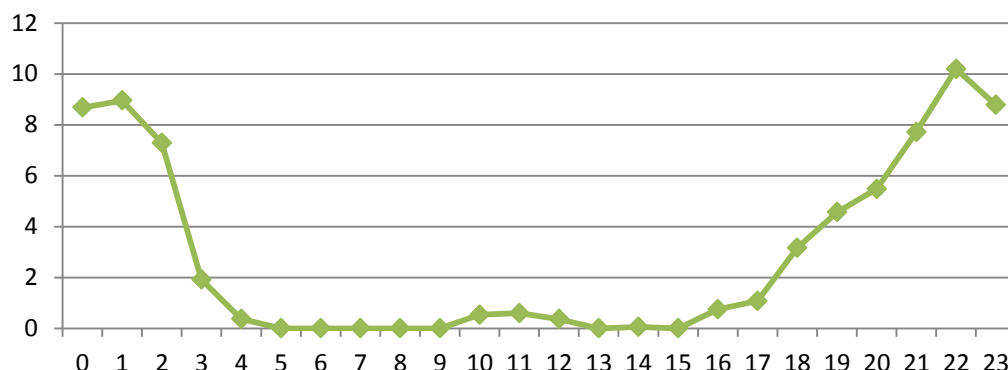


Figura 27. Consumo promedio en un día del usuario Discoteca La Calle.

La Figura 27 muestra el consumo promedio por hora en un día del usuario Discoteca La Calle, el cual por muestra un consumo bajo de kW por estar dedicado el transformador y el medidor a un solo local. Se muestra un bajo consumo el cual es casi nulo durante las horas del día, y se observa un consumo en las horas de la noche hasta las horas de la madrugada destacándose un pico a las 10 pm debido a la actividad comercial que desempeña el usuario.

Consumo promedio Cabecera III etapa

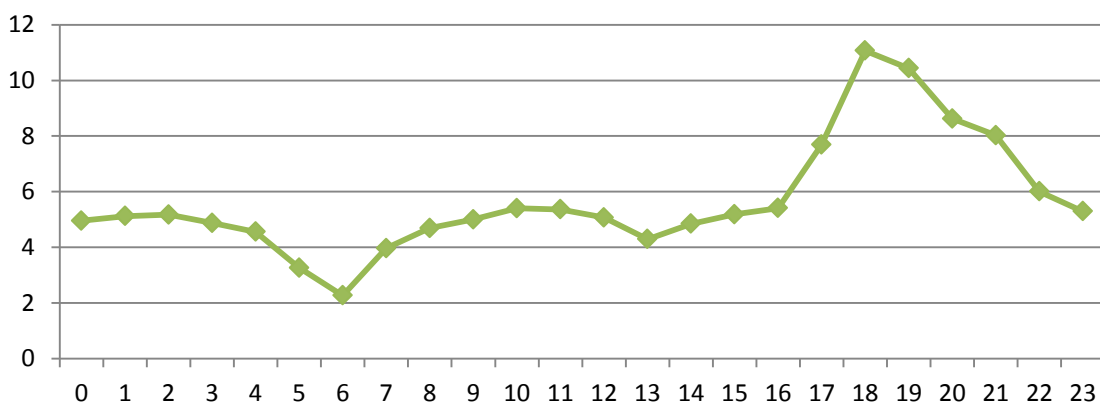


Figura 28. Consumo promedio en un día del usuario Cabecera III etapa.

La Figura 28 muestra el consumo promedio por hora del usuario Cabera III etapa que se desataca por un pico en el consumo a las 6 pm y una hora valle a las 6 am, este tipo de carga tiene en particular que durante el día tiende a tener un consumo casi estable de 5 kW-h.

Consumo promedio AMB

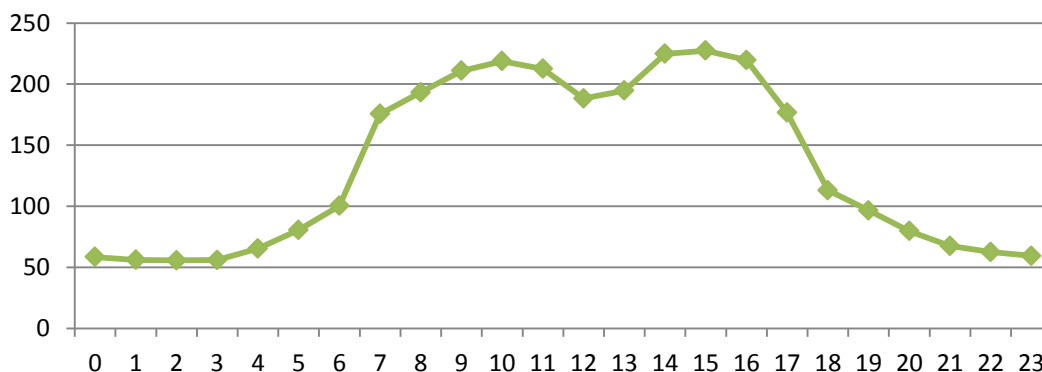


Figura 29. Consumo promedio en un día del usuario AMB.

La Figura 29 que muestra el consumo promedio por el usuario AMB se caracteriza por un alto consumo durante las horas del día especialmente horas de oficina y por un muy bajo consumo durante las horas de la noche y la madrugada.

Consumo promedio total cargas con telemedida

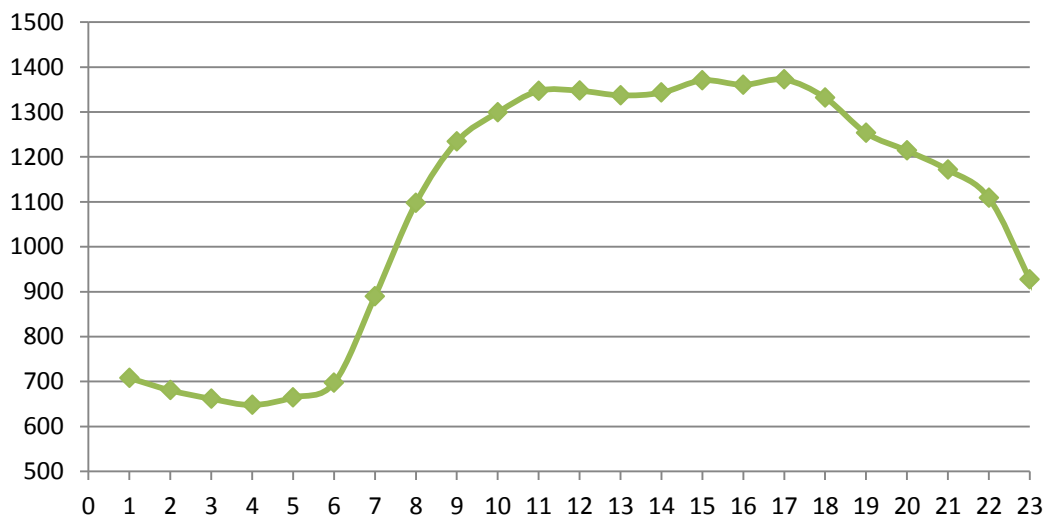


Figura 30. Consumo promedio total en un día de todos los usuarios con tele medida de la línea 403 del OP.

Al sumar todos los consumos promedios de los usuarios con tele-medida se obtiene una curva de consumo como la mostrada en la Figura 30, que se caracteriza por una alta

demanda durante las horas del día y de la noche y por una franja de horas valle durante las horas de la madrugada.

4. INCORPORACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVAS AL ALIMENTADOR SELECCIONADO.

4.1. METODOLOGÍA APLICADA PARA LA INCORPORACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA AL ALIMENTADOR.

Para la incorporación de las fuentes de energía alternativa se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para garantizar un dimensionamiento adecuado del sistema:

- Las fuentes de energía a considerar será la energía solar fotovoltaica y los grupos electrógenos, considerándolos los más adecuados a implementar debido a las condiciones geográficas de la zona.
- Revisión bibliográfica sobre micro-redes inteligentes haciendo énfasis en la línea de investigación del grupo GISEL y proyectos e investigaciones relacionadas al tema hechas en el país,
- Estimación de capacidad de suministro, que para el caso de la energía solar se estableció una metodología denominada el peor año para analizar así el sistema en el caso más desfavorable considerando las pérdidas que generalmente se presentan en estos sistemas para obtener un dimensionamiento adecuado del sistema.
- Selección de la ubicación de las fuentes de generación de energía alternativas considerando los lugares disponibles en el área de ubicación de la red de media tensión y seleccionando la que ofrezca mayor disponibilidad de espacio.
- Análisis de la influencia en el sistema al incluir este tipo de fuentes.
- Análisis de la continuidad del servicio actual de la red convencional y de las condiciones ambientales que puedan afectar la operación del sistema.

4.2. ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE FUENTES ALTERNATIVAS A APLICAR SEGÚN CONDICIONES DE LA ZONA.

4.2.1. ENERGÍA SOLAR.

El departamento de Santander cuenta con un promedio diario multi-anual cercano a 4,5 kWh/m² [13] lo cual le permite tener un gran potencial de energía solar a desarrollar,

Como se analizó en la matriz DOFA [8] para la penetración de las fuentes alternativas de energía en Colombia, la energía solar representa un complemento frente a la poca disponibilidad del recurso hídrico en periodos de escasas de lluvia presentado un precio estable a largo plazo y un muy bajo nivel de emisiones de GEI, además que su carácter modular permite ampliar la capacidad de generación de forma más rápida.

PROYECTOS DESARROLLADOS DE ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA

La UPME en el volumen 2 de la Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia [18] hace una descripción de los proyectos desarrollados en el país de este tipo de energía, a continuación se mencionan los aspectos más relevantes de dicho documento.

Los proyectos solares desarrollados en Colombia son especialmente aplicaciones térmicas para calentamiento de agua, y fotovoltaicas para sistemas de comunicaciones y para electrificación rural.

La energía eléctrica generada por una fuente solar fotovoltaica en Colombia ha tenido su principal uso en zonas rurales que no se encuentran conectadas al STN. Debido a los grandes costos que presenta la generación de energía por fuentes convencionales a pequeña escala por los costos de sus combustibles y las dificultades de mantenimiento, la generación solar se presenta como una opción económica y confiable que satisface las necesidades del entorno.

Las actividades de inclusión de este tipo de energía surgieron en Colombia con el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom con el apoyo técnico de la Universidad Nacional cerca del año 1980. En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp⁹ para radioteléfonos rurales y ya en 1983 habían instalados 2.950 de tales sistemas.

En curso del programa se logró instalar sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Muchas empresas comenzaron a instalar estos sistemas para sus comunicaciones hasta la actualidad, donde se tienen aplicaciones de estos sistemas para funcionar con repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, y otros. De esta forma el sistema solar fotovoltaico se convirtió en un sistema esencial para las telecomunicaciones rurales del país. Según un estudio realizado, entre 1985 y 1994 se importaron 48.499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp.

De todos los módulos importados, 21.238 se usaron en proyectos de telecomunicaciones con una potencia de 843.6 kW y 20.829 se usaron en electrificación rural módulos con 953.5 kWp. En el estudio anterior se observó que en una muestra de 248 sistemas el 56% de los sistemas funcionaban sin problemas, el 37% funcionaban con algunos problemas y 8% estaban fuera de servicio. Actualmente no hay estudios sobre el comportamiento de estos sistemas por falta de estudios de los mismos.

⁹ Wp: vatio pico.

Para la electrificación rural, el sistema para hogares aislados cuenta normalmente con un panel solar de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga, suficientes para suministrar energía para iluminación, radio y TV cubriendo las necesidades más básicas de estos hogares.

Durante los últimos años gracias al FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas) se han instalado sistemas de generación de este tipo de energía para los programas de electrificación rural.

El IPSE es la institución encargada de liderar la energización del campo colombiano y según esta institución, en la actualidad hay más de 15 000 sistemas instalados para este tipo de aplicaciones. El IPSE cuenta también con soluciones innovadoras como lo son los sistemas híbridos, en donde se combinan la energía solar fotovoltaica y otro tipo de fuente de generación convencional con el fin de reducir los costos de generación tener un respaldo para el servicio.

A finales de los años ochenta el mercado de estos sistemas se vio impulsado por el programa de telecomunicaciones rurales de Telecom, pero las dificultades de orden público en la década de 90 frenaron este impulso.

Considerando todo esto, hay grandes perspectivas para la este tipo de generación de energía eléctrica, especialmente en el área rural donde cerca de 1 millón de familias carecen del servicio de energía eléctrica.

INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA.

Las aplicaciones de energía solar en el país, se encuentran en la investigación y desarrollo de prototipos por parte varias universidades. Los proyectos aprobados y financiados por Colciencias entre 1991 y 2009 se muestran en la Tabla 9.

Código	Proyecto	Fuente energía	Entidades	Año Vigencia Fiscal	Tipo de Financiación	Estado	Financiado Colciencias	Costo Total del Proyecto
1101-06-329-95	Desarrollo de celdas solares- Fase II.	Solar	Universidad Nacional- Sede Bogotá	1997	RC	Terminado	\$45,616,393	\$45,616,393
1101-06-12469	Desarrollo de materiales para la fabricación de celdas solares e instalación y monitoreo de sistemas prototipo de generación fotovoltaica de electricidad	Solar	Universidad Nacional Sede Bogotá	2002	RC	Terminado	\$125,282,745	\$339,106,250
1118-06-14839	Implementación y desarrollo de un refrigerador solar inintermitente basado en carbón activado y metanol o amoníaco	Solar	Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín	2003	RC	Terminado	\$131,062,185	\$337,112,867

Tabla 9. Proyectos en Fuentes No Convencionales de Energía, Período 1991-2009, pesos constantes 2006 [18].

Los proyectos mostrados en la Tabla 9 están a cargo de la Universidad Nacional, el primero se encarga de analizar la física básica de las celdas solares fotovoltaicas, el

segundo está encargado de analizar sistemas de generación de electricidad conectados a la red y el tercer proyecto está encargado de la implementación y desarrollo de un refrigerar solar intermitente basado en carbón. Actualmente Colciencias tiene registrado en el tema de energía solar solo dos grupos de investigación encargados del tema.

4.2.2. ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR GRUPO ELECTRÓGENO A GAS Y/O DIESEL (PARA CASOS DE CONTINGENCIAS).

Para los casos de contingencias, manteniendo siempre prioridad en las cargas críticas y definiendo un orden de prioridad de cargas, un equipo de grupo electrógeno activado por gas o por diesel servirá de respaldo para mantener la continuidad del servicio.

Bucaramanga es la ciudad con mayor confiabilidad de abastecimiento de gas natural, debido a la reciente puesta en marcha del gaseoducto Gibraltar¹⁰ en el año 2012, el cual garantiza el suministro del servicio de manera ininterrumpida por los próximos 20 años, lo que le permite que al municipio lleguen 12 millones de pies cúbicos diarios suficientes para suplir la demanda residencial y comercial. De esta forma, un grupo electrógeno basado en gas se convierte en una excelente opción de respaldo para los casos de contingencias del servicio, garantizando el suministro y la calidad del servicio de energía eléctrica a los usuarios con cargas especiales.

4.3. ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE LAS FUENTES ALTERNATIVAS.

En la Tabla 10 se encuentra la radiación media diaria y en la Figura 31 se observan las curvas de radiación solar promedio diaria, desde el año 2002 hasta el año 2008 del área metropolitana de Bucaramanga suministrada por la CDMB¹¹ (ver anexo A), la metodología a utilizar denominada el peor año, consiste en dimensionar el sistema para satisfacer la demanda de energía durante la temporada más desfavorable.

¹⁰ Noticia publicada por el MME el 30/04/12 disponible en el sitio web:

http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?opcionCalendar=4&cargaHome=2&id_noticia=1443

¹¹ Información actual hasta la fecha no pudo ser suministrada por la corporación.

Año	Radiación media diaria [kW/m ²]
2002	5,192
2003	4,737
2004	4,575
2005	4,728
2006	4,720
2007	5,011
2008	4,984

Tabla 10. Radiación media diaria de los años 2002 a 2008 del área metropolitana de Bucaramanga.

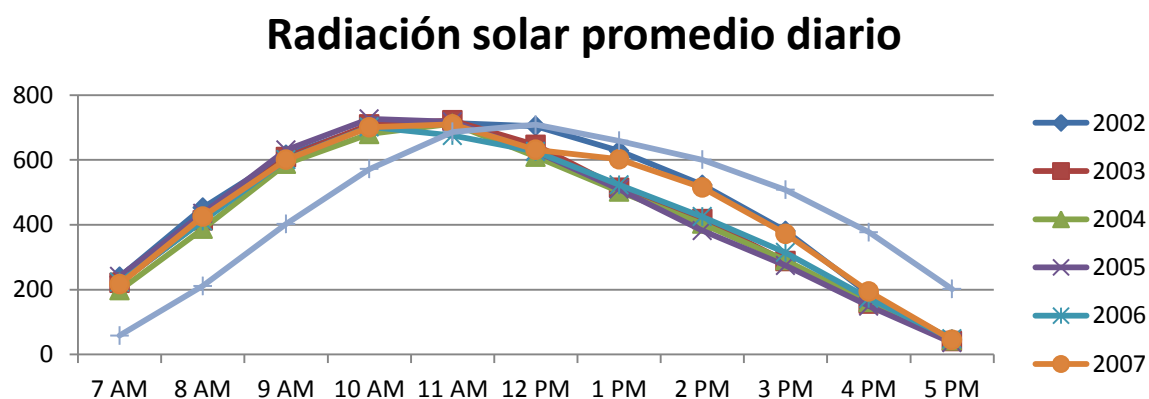


Figura 31. Curva de radiación solar promedio diario de los años 2002 a 2008.

Con los análisis realizados a la Tabla 10 y a la Figura 31, se puede observar que el área cuenta con una radiación solar bastante estable, y que el año más desfavorable (con menor radiación) fue el año 2004 que contó con una radiación media de 4,575 kW/m² por lo tanto el dimensionamiento del sistema se realizará con los datos de este año.

ÁREA PARA UBICACIÓN DE LAS CELDAS SOLARES.

Para el dimensionamiento del sistema es muy importante definir algunas características de las celdas solares, principalmente la eficiencia que afecta la cantidad de energía a generar y el área a ocupar por la celda que puede ser una limitante según el espacio disponible.

En este caso, se considerará el modulo solar foto-voltaico CS-250MS de la empresa española CambioSolar que se destaca por una alta eficiencia comparado con otros

paneles. Este panel cuenta con un área total de 1,64 m² definido por un largo de 1665 mm y un ancho de 990 mm.¹²

Para la selección del área de ubicación de las celdas solares, los paneles deben ir ubicados en terrenos de propiedad de los usuarios beneficiados con el sistema y que tengan área disponible y plana para lograr la mejor ubicación en inclinación para lograr la mayor recepción de radiación solar.

El sistema fotovoltaico se plantea centralizado en un solo punto ya que esto presenta los siguientes beneficios:

- Facilita la labor de mantenimiento, operación y administración.
- Reducir el número de equipos activos lo que reduce las posibilidades de falla.
- Un sistema robusto ofrece mayor protección sobre perturbaciones.

La Tabla 11 muestra los usuarios que cumplen con las características planteadas y los compara para escoger la mejor opción en tamaño lo que se traduce en mayor energía a generar por el sistema fotovoltaico.

USUARIO	Área disponible ¹³ [m ²]
CLL 41 31 120 CCO MERCADEFAM	1.349,1
CLL 30A 33 51 ÁLVAREZ - UCC	2.611,26
CRA 35A 49 55 CCIAL 4TA ETAPA CABECERA	1.522,6
CLL 32 44 3 AMB	1.162,34
CRA 33 45-52 METROPOLITAN BUSSINES PARK	1.499,42
CRA 33A 34 AVD. Q SECA-MEGAMALL	12.324,2

Tabla 11. Áreas disponibles de los usuarios para la ubicación de los paneles solares.

Considerando esta información se seleccionó la azotea del Centro Comercial Megamall entre todas otras opciones. Esta azotea cuenta con la mayor área disponible para la ubicación de las celdas solares que es de 12.324,2 m².

En las Figuras 32 y 33¹⁴ se puede observar el área disponible que tiene el Centro Comercial el cual lo convierte en la mejor opción para la disposición de las celdas.

¹² Características del módulo solar disponible en el catálogo disponible en el anexo A.

¹³ Área calculada en base a la medida tomada en las herramientas Google Earth y AutoCAD Civil 2012.

¹⁴ Imágenes disponibles en la página web <http://www.skyscraperlife.com/proyectos-y-construccion/F3n/856-megamall-nuevo-centro-comercial-en-bucaramanga.html>



Figura 32. Vista de perfil de Centro Comercial Megamall.

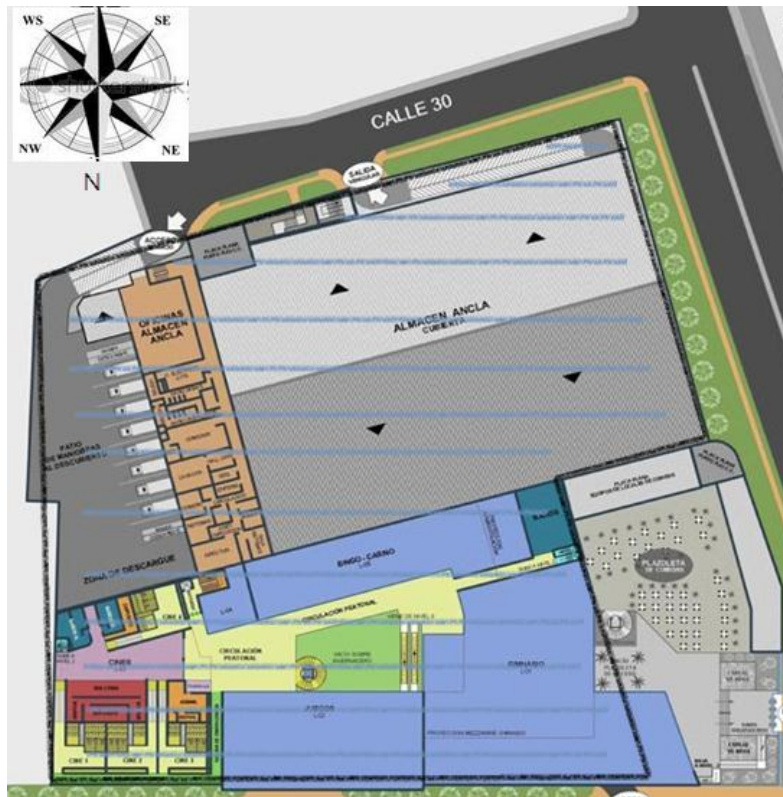


Figura 33. Vista de superior de Centro Comercial Megamall.

Bucaramanga debido a su ubicación geográfica y al marco regulatorio del cual se encuentra regida, no es una zona atractiva para la implementación de seguidores solares, por tal razón se recomienda disponer los paneles solares de forma estática, lo cual representa que cada panel dejara de recibir un 20% de energía solar al día [20].

La mayor radiación solar recibida por un panel solar estático depende de la inclinación en la cual dicho panel, y esta depende directamente de la latitud de la zona donde se encuentre ubicado el sistema [19] [20]. Ya que Bucaramanga se encuentra en la latitud 7,23° norte, cada panel deberá ser ubicado a un ángulo de 7,23° con orientación al sur, esta inclinación reducirá el área a ocupar por el panel en un 0,8% y ocupara un área total de 1,63 m².

En la Figura 33, se encuentran dibujados con línea de color negro, las fronteras del área propuesta para la colocación de los paneles solares y en línea celeste la disposición de las filas de paneles solares ordenados al largo de cada panel, considerando una distancia entre filas de 40 cm para labores futuras como el mantenimiento, se calcula un total de 4161 paneles solares y un área total ocupada por los paneles de 6783,13 m².¹⁵

POTENCIA SUMINISTRADA POR EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.

Con un área total ocupada por los paneles solares de 6783,13 m² para realizar el dimensionamiento del sistema, usando los datos de radiación solar del año 2004 y considerando la eficiencia del panel solar del 15,02%⁸ y las eficiencia global del resto del sistema (perdidas por cableado, pérdidas por los demás equipos a utilizar en un sistema solar fotovoltaico y pérdidas por la posición estática del panel) definida en un 66,64% [19] se estima el potencial de energía generada con capacidad de convertir el 10,01% de energía solar en energía eléctrica y su influencia en el consumo mensual de la red, que se encuentra en la Tabla 12.

Hora	Radiación promedio por hora [W/m ²]	Potencia generada por hora [kWh]
7 AM	197,99	134,43
8 AM	387,32	262,97
9 AM	588,21	399,36
10 AM	680,07	461,73
11 AM	711,47	483,05
12 PM	609,77	414,00
1 PM	502,13	340,92

¹⁵ Existen limitaciones para definir y especificar más a fondo las características de la azotea ya que no fue posible lograr un permiso por parte del usuario para acceder a esta.

2 PM	403,16	273,73
3 PM	290,45	197,20
4 PM	161,40	109,58
5 PM	43,08	29,25
Potencia total estimada a generar en un día [kW-día]		3.106,22
Potencia total estimada a generar en el mes [kW-mes]		93.186,58
Consumo total mensual por los usuarios de la línea [kW-mes]		2.239.026,7
Nueva potencia de demanda mensual al sistema convencional [kW]		2.145.840,07
Porcentaje de variación de demandas de potencias al sistema		4,62 %

Tabla 12. Potencia eléctrica generada a generar por el sistema solar fotovoltaico. [Autor]

Para la conexión del sistema solar fotovoltaico a la red eléctrica convencional, se deberá usar un inversor de corriente y un transformador de potencia para convertir la energía eléctrica a corriente alterna y eventualmente llevarla al nivel de 34,5 kV.

Para facilitar el análisis de la forma que afecta la curva de demanda al incluir este tipo de energía alternativa, se analiza cómo quedaría la nueva curva de demanda para los usuarios con tele-medida ya que son los únicos usuarios con la disponibilidad de información hora por hora, la Tabla 13, la Figura 34 y la Figura 35 muestran los resultados de dicho análisis.

Hora	Potencia generada por la energía solar foto-voltaica [kW]	Potencia consumida por usuarios con tele-medida [kW]	Nueva curva de demanda para usuarios con tele-medida [kW]
12 AM	0,00	707,72	707,72
1 AM	0,00	680,39	680,39
2 AM	0,00	661,56	661,56
3 AM	0,00	647,71	647,71
4 AM	0,00	664,54	664,54
5 AM	0,00	696,89	696,89
6 AM	0,00	889,73	889,73
7 AM	134,43	1.097,23	962,80
8 AM	262,97	1.234,15	971,18
9 AM	399,36	1.298,96	899,60
10 AM	461,73	1.346,87	885,15

11 AM	483,05	1.347,29	864,24
12 PM	414,00	1.337,07	923,07
1 PM	340,92	1.342,94	1002,02
2 PM	273,73	1.370,44	1096,71
3 PM	197,20	1.360,57	1163,36
4 PM	109,58	1.372,04	1262,46
5 PM	29,25	1.331,80	1302,55
6 PM	0,00	1.253,40	1253,40
7 PM	0,00	1.213,86	1213,86
8 PM	0,00	1.171,11	1171,11
9 PM	0,00	1.108,67	1108,67
10 PM	0,00	926,84	926,84
11 PM	0,00	730,95	730,95

Tabla 13. Análisis de las nuevas potencias de demanda al sistema para los usuarios con tele-medida. [Autor]

La Figura 34 creada por el autor del documento, muestra el porcentaje de potencias generada por el sistema de energía solar foto-voltaica según la hora por hora, donde se observa un mayor porcentaje de producción entre las 11 am y las 2pm.

En la Tabla 13 y la Figura 35 se puede analizar, la nueva curva de demanda baja el consumo a la red eléctrica convencional durante aproximadamente 9 horas al día, y se presenta un pico de generación de potencia eléctrica entre las 10 a.m. y la 1 p.m. también es importante resaltar que no se es necesario el uso de acumuladores de energía ya que el sistema siempre debe estar conectado a la red. La Figura 35 muestra como la integración del sistema de energía solar fotovoltaica ayudaría a estabilizar la curva de demanda de usuarios con tele-medida. La Figura 35 fue creada por el autor de este documento.

Potencia eléctrica generada por la fuente de energía solar fotovoltaica [kW]

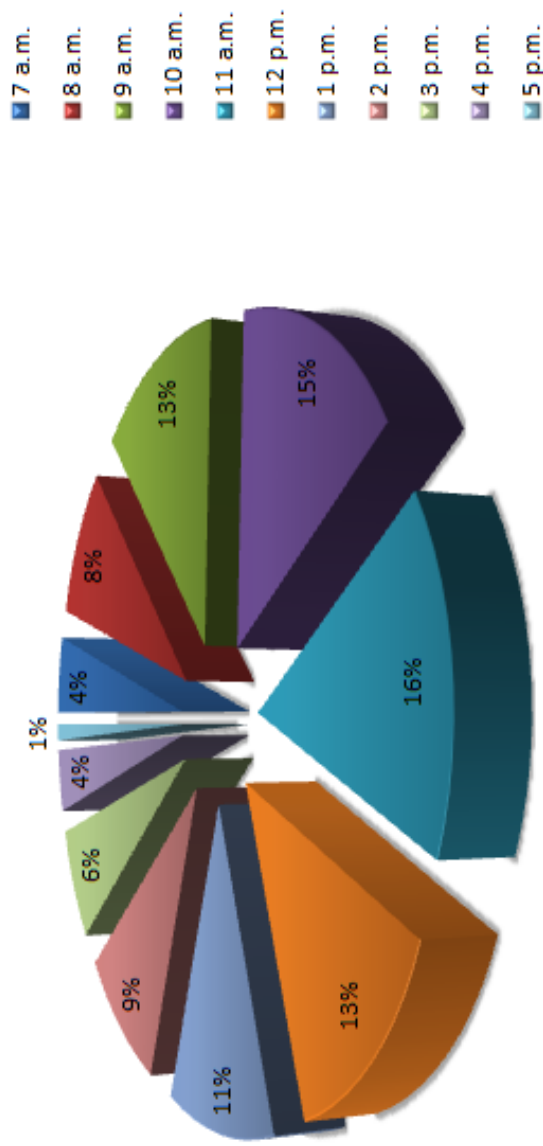


Figura 34. Potencia eléctrica generada por la fuente de energía solar fotovoltaica

Curva de demanda para usuarios con tele-medida al incluir la energía eléctrica fotovoltaica generada

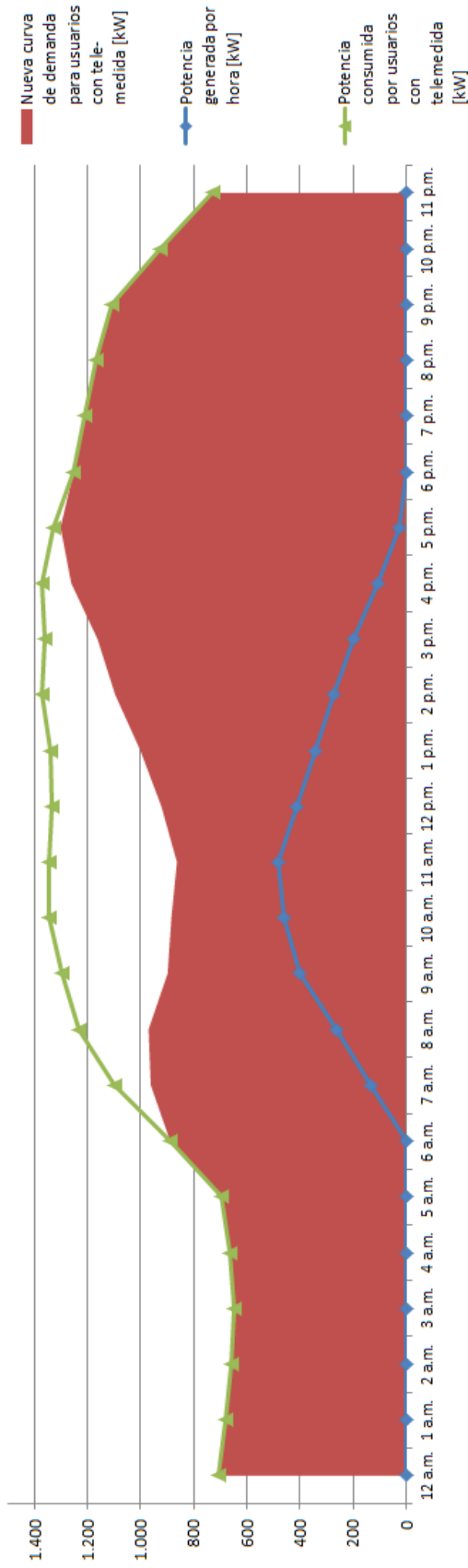


Figura 35. Influencia en la curva de demanda de usuarios con tele-medida por el sistema fotovoltaico

POTENCIA SUMINISTRADA POR EL GRUPO ELECTRÓGENO.

Try-energy¹⁶ es una empresa de la región que cuenta en su portafolio de negocios con generadores diesel con potencias desde 11kVA hasta 3300 kVA y a gas con potencias desde 35kW a 1000 kW de la empresa Power Generation¹⁷ (ver Figura 36), lo que lo convierte en una opción sencilla y practica para la adquisición y puesta en funcionamiento de este tipo de generadores.

Ya que su uso depende de los casos de contingencia, el número de equipos se definirán al momento de analizar dichos casos.



Figura 36. Muestra del portafolio de productos de la empresa local Try-energy.

ÁREA DE UBICACIÓN DEL GRUPO ELECTRÓGENO

Debido a que los equipos de grupo electrógeno no disponen de mucho espacio y que para la micro-red es útil tener centralizados las fuentes de generación, se recomienda ubicar el grupo electrógeno en la misma ubicación de las fuente de generación de energía fotovoltaica. Estos equipos cuentan con dimensiones máximas de 2,3m de longitud, 1,1m de ancho y 1,65m de alto¹⁷ lo que facilita su ubicación de un área cerrada con la condición de la necesidad de un tubo de escape al exterior.

¹⁶ Información de la empresa disponible en el sitio web: <http://www.grupotrienergy.com/>

¹⁷ Información de la empresa disponible en el sitio web: <http://cumminspower.com/es/>

4.4. CONDICIONES GEOGRÁFICAS AMBIENTALES Y NATURALES LOCALES QUE PUEDEN AFECTAR LA OPERACIÓN DEL SISTEMA.

4.4.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIA Y DURACIÓN EQUIVALENTE DE LA INTERRUPCIÓN EN EL SERVICIO (ANÁLISIS FES Y DES).

Un análisis de frecuencia y duración de interrupción del servicio es fundamental y obligatorio para los sistemas de distribución en Colombia y definen la confiabilidad y la calidad del servicio de energía eléctrica. La resolución CREG 070 de 1998 en el numeral 6.3 definió estos dos indicadores para el control de la calidad del servicio prestado:

- Duración equivalente de las interrupciones del servicio a nivel de circuito (DES):

Se calcula como la acumulación del tiempo, en horas, de la duración de las interrupciones en un circuito durante los últimos 12 meses. Su ocurrencia representa costos variables al usuario ya que puede afectar procesos, producir pérdidas materiales y costos de reencendido independientemente de la duración.

- Frecuencia equivalente de las interrupciones del servicio a nivel del circuito (FES):

Se calcula como la acumulación del número de interrupciones del servicio en un circuito en los últimos 12 meses. Su ocurrencia representa un costo fijo para el usuario en especial, en particular en el sector industrial porque produce una menor producción.

En la Tabla 14 se encuentran los indicadores del último año de la línea 403 del OP y se observa que estos indicadores nunca sobrepasaron los límites trimestrales, por lo tanto el OP no tuvo que hacer compensaciones económicas a sus usuarios.

Aunque el OP cumple con los indicadores FES y DES, la micro-red tiene un efecto positivo al reducir el número de interrupciones del servicio, lo cual es fundamental para las cargas críticas donde la vida humana puede estar en peligro.

	FES	DES		FES	DES
Enero	0	0	Total trimestre 1	1	0,13
Febrero	0	0	Limite trimestre 1	5	1,5
Marzo	1	0,13			
Abril	0	0	Total trimestre 2	2	0,75
Mayo	2	0,75	Limite trimestre 2	7	3
Junio	0	0			
Julio	2	2,37	Total trimestre 3	2	2,37
Agosto	0	0	Limite trimestre 3	7	3

	FES	DES		FES	DES
Septiembre	0	0			
Octubre	0	0	Total trimestre 4	0	0
Noviembre	0	0	Limite trimestre 4	7	3,5
Diciembre	0	0			
Total anual	5	3,25	Limites anual	26	11

Tabla 14. Indicadores FES y DES del año 2013 de la línea 403 del OP.¹⁸ [ESSA]

4.4.2. NIVEL ISOCERAUNICO DEL ÁREA.

Cuando un rayo cae a la tierra puede tener efectos negativos en la zona, puede llegar dañar equipos o instalaciones por medio de la línea de suministro de energía eléctrica e incluso puede llegar a sacar de operación el sistema, lo que representa peligros y costos extras.

El nivel isoceraunico es el nivel con el que se miden la cantidad de tormentas eléctricas (en las que se escuchan truenos) que hay en un año, en la Figura 37 se muestra la distribución media mensual de tormentas eléctricas en el área metropolitana de Bucaramanga cuyos datos fueron tomados por el IDEAM en el aeropuerto Palonegro de Lebrija entre los años 1974 y 1998.

En la Figura 37 se puede observar que los meses con mayor probabilidad de descargas atmosféricas con Abril, Mayo y Octubre por lo tanto el sistema debe contar con equipos apropiados que prevengan el caso de un impacto de una descarga atmosférica a la red.

¹⁸ Información disponible en el anexo A.

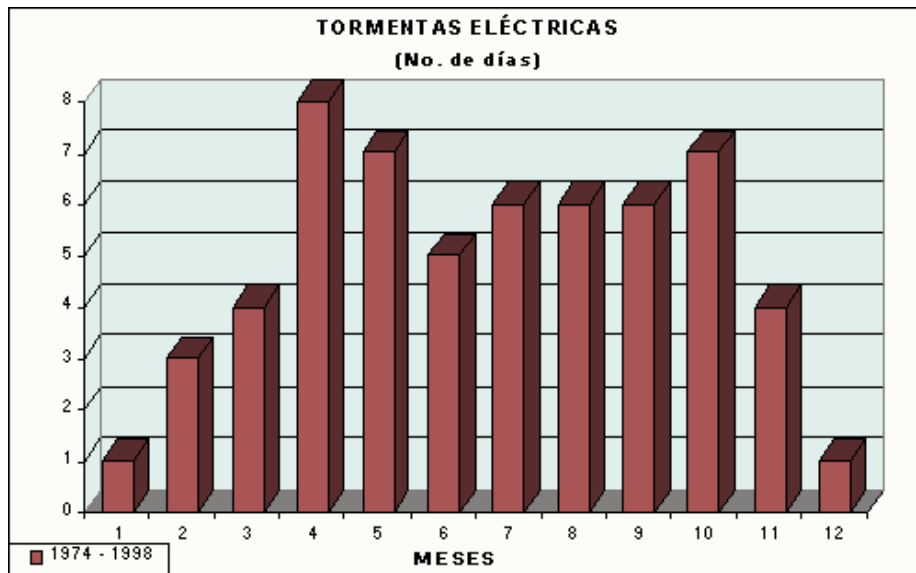


Figura 37. Distribución media mensual de tormentas eléctricas en el área metropolitana de Bucaramanga.

4.4.3. DATOS AMBIENTALES EXTRAS QUE PUEDEN INFLUIR EN LOS COMPONENTES DE LA MICRO-RED.

Diversos componentes de la micro-red por ejemplo los equipos, se ven influenciados por factores ambientales como la temperatura, la humedad y otras características de la zona, la Figura 38 muestra la carta climatológica media mensual del área metropolitana de Bucaramanga suministrada por el IDEAM con información relevante para los componentes de la micro-red que se vean afectados por condiciones ambientales.

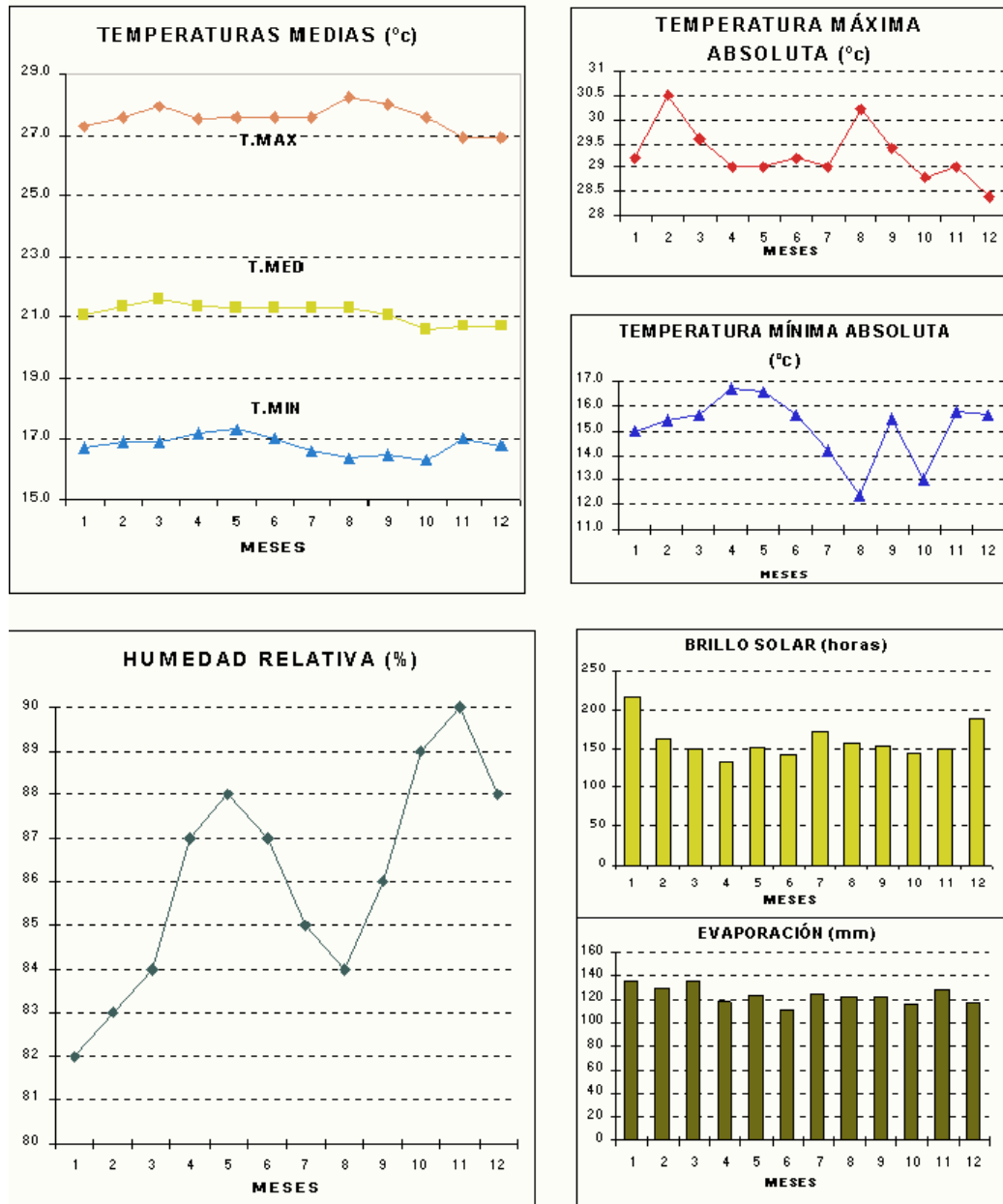


Figura 38. Carta climatológica media mensual del área metropolitana de Bucaramanga.

5. ANÁLISIS DEL MODELO DE LA MICRORED.

5.1. ELEMENTOS NECESARIOS A IMPLEMENTAR PARA CONVERTIR LA RED CONVENCIONAL DE ENERGÍA EN UNA MICRO-RED INTELIGENTE.

En el sistema actual de la red convencional existente hay que considerar la inclusión de nuevos elementos para convertir dicha red en una micro-red inteligente. Para este fin se hace una lista de los elementos existentes en la red actual, y una breve descripción de los nuevos elementos recomendados a incluir en el sistema [21].

ELEMENTOS EXISTENTES:

La red convencional cuenta con elementos que son de utilidad para la implementación de una micro-red inteligente, estos elementos son:

- Infraestructura del sistema de distribución¹⁹: Es básico el uso y la necesidad de la infraestructura del sistema como líneas de distribución, postes, canalizaciones subterráneas, transformadores de potencia, reconectores y todos los equipos con los que cuenta un sistema básico de distribución de energía eléctrica.
- Equipos de tele-medida: Algunos usuarios de la red eléctrica cuentan con medidores capaces de tomar datos de potencia hora a hora, lo cual es indispensable para definir la gestión de la energía eléctrica especialmente en casos de contingencias donde se deben atender primero las cargas más prioritarias.
- Equipos de control: El OP de red desde las subestaciones de distribución y desde su sede administrativa principal tiene control sobre interruptores, reconectores y otros elementos que permiten el control del sistema.

NUEVOS ELEMENTOS A INCLUIR EN EL SISTEMA.

En Tabla 15 creada por el autor de este documento se hace una propuesta para implementar equipos y/o elementos con las siguientes características que cumplen con las condiciones de este sistema.

¹⁹ Información completa de la red disponible en el Anexo A.

Cantidad	Elemento	Descripción	Variables enviadas al centro de control	Función de gestión en el centro de control
4160	Panel solar mono-cristalino de alta eficiencia CS-250Ms	Para este caso se conectaran los paneles fotovoltaicos en grupos de a 13 equipos en serie y hasta 5 en paralelo según lo permitido por las especificaciones de capacidad del inversor	Tensión del panel y potencia suministrada por el sistema fotovoltaico (medidor)	La tensión se usa como referencia de radiación solar para definir si el sistema está disponible para generar energía
65	Inversor AuroaTrio PVI10.0 US	Encargados de transformar la energía generada de corriente continua a corriente alterna y con función de controlador con tecnología MPPT para ser inyectada en la red eléctrica, el inversor cuenta con salida trifásica a 120V por fase para conectar directamente a la red	Corriente en lado AC (medidor)	Calcular la potencia generada por el sistema fotovoltaico para definir el número de cargas que se puede alimentar según los criterios de prioridad
2	Grupo electrógeno	Como opción de respaldo según lo definido en el capítulo 4.3	Potencia generada (medidor)	Calcular la potencia generada por el grupo electrógeno para definir el número de cargas que se puede alimentar según los criterios de prioridad
11	Unidad de monitoreo Schneider logical ON8650A	El sistema de tele-medida existente solo está disponible para 7 de los 17 usuarios totales de la línea de distribución, para la implementación de este nuevo sistema es necesario contar con medidores inteligentes para cada uno de los usuarios y en los puntos de generación de energía. Esta unidad cumple con los parámetros de tele-medida requeridos y además permite la medición bi-direccional de la energía	Tensión, corriente, frecuencia y potencia	Con los valores potencia de los equipos de generación calcula cuanta potencia puede suministrar el sistema y con los valores de potencia consumida y las prioridades de cargas define que cargas van a ser conectadas

1	Sistema de comunicación PUTT	<p>El sistema de comunicación PUTT definido en la norma IEEE Std. C37-113 de 1999 considera informaciones recopiladas tanto en la zona de falla como en la zona de operación. Este sistema tiene canales que permiten la comunicación de la información entre el centro de operaciones y los usuarios para el intercambio de información y la toma de decisiones por parte del operador sistema. Debe estar acorde a las protecciones y a los sistemas de control seleccionados.</p>	Señales digitales	<p>El sistema de control recibe las señales digitales de todos los medidores de los elementos del sistema por medio del sistema de comunicación</p>
	Relés digitales con función de reconexión y protección sobre corriente.	<p>Es necesario la implementación de reconectores en cada uno de los usuarios para gestionar la energía generada y disponerla entre los usuarios más críticos en los casos de contingencias, para esto se recomienda cambiar los interruptores de conexión de cada usuario por unos de igual capacidad que permitan un control remoto gobernado por el sistema de control para la gestión adecuada requerida. Los relés con protección deben estar ubicados en los puntos donde se encuentren las fuentes de generación de la micro-red y cargas simultáneamente. Se deben implementar las protecciones bidireccionales y se recomienda que estas deben ser de 6kA en el caso de los dos grupos electrógenos y de 30A por fase en la salida en AC de cada uno de los inversores.</p>	Señal de entrada de información del relé y en los casos de relé con protección señal de salida de este.	<p>El sistema envía una señal al relé con la instrucción de apertura o cierre si es necesario y recibe una señal de la protección indicando si hubo alguna falla</p>

1	Sistema de control	Para la integración del sistema y darle el componente inteligente, se deben disponer de sistemas de control que permitan gestionar toda la información disponible y sirva como centro de decisiones para gestionar la energía generada por las fuentes de generación, además de permitir el control de parámetros del sistema. Se recomienda el protocolo de control Modbus el cual es un protocolo estándar, público y de fácil implementación el cual funciona también con los medidores inteligentes propuestos.	---	---
65	Protecciones	Protecciones sobre corriente y sobretensión para cada inversor y así proteger el sistema fotovoltaico contra operaciones no deseadas y fallas	Señal de salida de información de la protección	El sistema recibe una señal de la protección indicando si hubo alguna falla

Tabla 15. Elementos de la micro-red y su forma de gestión en el sistema.

Debido a que el sistema se plantea para estar siempre conectado a la red eléctrica convencional, operar aislado solo en casos de contingencias y una de dichas contingencias considera la posibilidad de la no operación de la fuente de generación fotovoltaica, no se considerara el uso de acumuladores en la micro-red. En la Figura 39 se muestra un modelo que con los componentes del sistema de la micro-red.

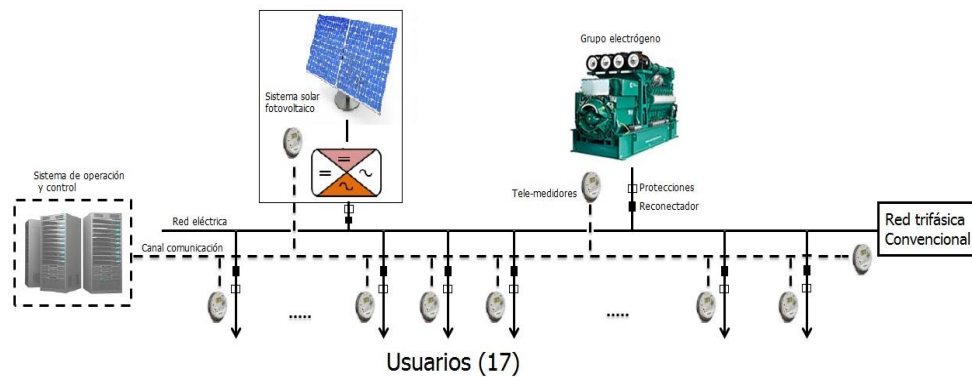


Figura 39. Modelo del sistema de la micro-red. [Autor]

Estos sistemas tienen la ventaja que al ser compuesto por módulos, permite la integración de nuevos equipos para satisfacer futuras ampliaciones del sistema en caso de ser necesarias.

5.2. SIMULACIÓN DEL ESCENARIO RÉGIMEN PERMANENTE DE LA MICRO-RED EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO.

Para la simulación del escenario de estado estable de la micro-red se usara la versión educativa 17 del software PowerWorld que presenta las siguientes ventajas:

- Presenta un entorno grafico bastante amable y de fácil entendimiento.
- Permite el análisis de un sistema de hasta 10 barras arrojando datos de regulación de voltaje y flujos de carga en cada barra lo cual abarca el objetivo de simulación de este proyecto.
- Permite manejar cualquier nivel de tensión por lo cual se puede aplicar modelar sistemas de distribución.
- Conocimiento y manejo adecuado de la herramienta por parte del autor lo que facilita la tarea de la simulación.
- Su versión educativa es gratuita y se encuentra disponible online.

Para poder generar la simulación se unieron las cargas de los usuarios según su uso principal definiendo así 6 tipos de usuarios mencionados en la Tabla 4 cuyos consumos se especifican en la Tabla 16 creada por el autor con la información suministrada por la ESSA.

Tipo de usuario	Potencia consumida mensual [MW-mes]	%
Centros comerciales	1.394,39	62,28%
Hoteles	274,14	12,24%
Otras cargas	186,95	8,35%
Administrativos	221,73	9,90%
Hospitales	98,96	4,42%
Educación	62,86	2,81%
Consumo total usuarios	2.239,03	100 %

Tabla 16. Tipos de cargas definidos para la simulación.

Para la realización de simulaciones de se consideró que debido a que el sistema cuenta con pocos usuarios (17 usuarios en total) el sistema es sencillo, por lo tanto el objetivo de dichas simulaciones es verificar el cumplimiento de la regulación de tensión en todos los puntos de la red y verificar la capacidad del sistema de suplir energía eléctrica a los usuarios.

Con la información de la Tabla 15 y el valor de la potencia total estimada a generar en el mes por el sistema fotovoltaico de la Tabla 12 se genera la simulación¹³ del sistema eléctrico en régimen permanente al incluir la micro-red como se observa en la Figura 38. La red se diseña de tipo enmallado a 34,5 kV como corresponde a en la realidad y se consideró la alimentación de las Subestaciones Conucos y Principal desde una misma barra llamada “Sistema Nacional” siendo esta la barra de referencia. En la Figura 39 se puede observar los resultados arrojados por el software al correr la simulación de la red.

Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Gen MW
1	SE Conucos	1	34,50	0,98071	33,835	-7,52		
2	Centros comerciales	1	34,50	0,97802	33,742	-7,57	1394,39	93,19
3	Hospitales	1	34,50	0,97714	33,711	-7,58	98,96	
4	SE Principal	1	34,50	0,97642	33,687	-7,61		
5	Otras cargas	1	34,50	0,97641	33,686	-7,59	186,95	
6	Hoteles	1	34,50	0,97594	33,670	-7,59	274,14	
7	Administrativos	1	34,50	0,97586	33,667	-7,60	221,73	
8	Educación	1	34,50	0,97610	33,675	-7,60	62,86	
9	Sistema nacional	1	34,50	1,00000	34,500	-4,08		2214,08

Figura 40. Resultados de la simulación de la red eléctrica en estado estable.

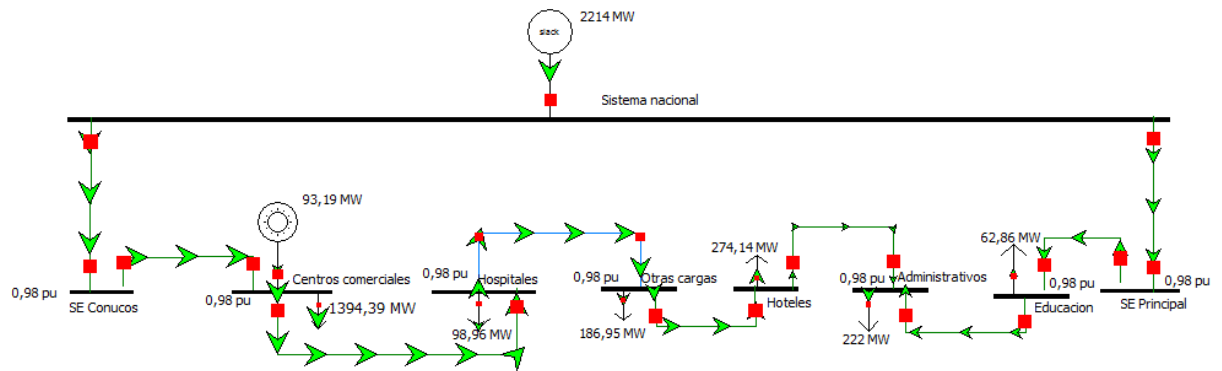


Figura 41. Simulación de la red eléctrica en régimen permanente con el software PowerWorld.

En la Figura 40 y en la Figura 41 se puede observar que en todos los puntos del sistema, la red se mantiene en un nivel de tensión permisible, además se observa también que la red actual del sistema soporta el balance de potencias al incluir la microred.

Un resultado muy importante es que la red del sistema que alimenta a las subestaciones a la cual se le dio el nombre de “Sistema Nacional” reduce aproximadamente en un 7% la potencia a suministrar gracias a la inclusión del sistema fotovoltaico en la línea.

ALTERNATIVA DE TARIFA DIFERENCIAL PARA INCENTIVAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MICRO-RED.

Para incentivar la implementación de micro-redes en la red eléctrica actual, se recomienda adaptar un sistema de tarifas más adecuado a las características de la red, de esta forma un sistema de tarifas diferenciales permite a cada tipo de usuario adoptar estrategias adecuadas para realizar tareas que consuman energía eléctrica en horas valle del sistema y así estimular el aplanamiento de la curva de demanda a la red eléctrica.

Actualmente en el país no existe un marco regulatorio que permita aplicar una tarifa diferencial para el sistema de energía eléctrica, pero estudios realizados sobre propuestas para aplicar este tipo de tarifas, arrojan datos disminución aproximada del 4% en el valor total de la facturación semanal²⁰ en usuarios residenciales [12] incentivando los consumos desde las primeras horas del día hasta las horas de la tarde, donde el sistema tiene una menor demanda de energía eléctrica, lo cual presenta una renta económica viable tanto para el usuario como para la red de energía eléctrica. Este mismo estudio muestra que aplicando la tarificación diferencial definida para el usuario y aplicando una gestión energética adecuado, se puede llegar a un ahorro semanal en la factura del usuario de hasta un 26,1%. [12]

En la Tabla 17 se muestran unas recomendaciones para definir un sistema tarifario diferencial adecuado según los tipos de usuarios del sistema, basado en los perfiles de carga de los usuarios mostrados en el capítulo 3.4.

Tipo de usuario	Características
Centros comerciales	Estos usuarios se caracterizan por tener horas valle de consumo en las horas de la madrugada y un consumo estable el resto del día. Teniendo en cuenta que estos usuarios cuentan con grandes consumos que dependen de la dinámica de compra por parte de la población, se recomienda a los usuarios trasladar las actividades que se puedan realizar en cualquier momento del día a las horas valle y aplicar programas de gestión y ahorro de energía. Al operador se le recomienda definir una tarifa más económica en las horas de la madrugada, y mantener una tarifa estable el resto del día. Para el caso puntual del usuario Cabecera III etapa se recomienda incentivar el consumo a las 6 am por medio de la tarifa diferencial y mantener la tarifa estable el resto del día.

²⁰ Este valor es tomado considerando únicamente la aplicación de un sistema diferencial tarifario, no se tuvo en cuenta la gestión de actividades del usuario que permitan una mayor disminución de facturación del servicio.

Hoteles	Estos usuarios poseen horas valle en las horas de la madrugada y unos picos de consumo en horas críticas como las 6 p.m. Considerando que el consumo de estos usuarios depende en su mayor parte del consumo de los huéspedes, se recomienda trasladar actividades a horas valle como lavandería, mantenimiento, entre otras que se puedan realizar en cualquier momento del día. Por esto, se le recomienda al operador definir una tarifa más económica en las horas de la madrugada, y mantener una tarifa estable el resto del día.
Hospitales	Aunque para este tipo de usuario no existe información hora por hora, debido a la actividad que desempeña cuenta con un consumo las 24 horas, a este tipo de usuario se le recomienda hacer programas de gestión y ahorro de energía y al operador se le recomienda hacer un análisis adecuado para identificar las horas valle de consumo del usuario e incentivar consumos de energía en estas horas.
Administrativos	Estos usuarios tienen un consumo estable durante horarios de oficina y horas valle el resto del día, se recomienda dejar actividades como el aseo, el mantenimiento de equipos y otras actividades propias del usuario que puedan desarrollarse en horas de la noche o de la madrugada, con el fin de ayudar a estabilizar el consumo diario de energía. Se le recomienda al operador definir una tarifa más económica en las horas de la madrugada y las horas de la noche, y mantener una tarifa estable en horarios de oficina.
Otras cargas	Este tipo de usuarios maneja dos usuarios con perfiles muy diferentes, para el usuario Locales mercadefam se hacen las mismas recomendaciones que a los usuarios de tipo administrativo, y al usuario Discoteca La calle se le recomienda aplicar una tarifa menor en horas del día donde se encuentra un consumo muy bajo, y mantener una tarifa estable en las horas de la noche.
Educación	Ya que este tipo de usuario no cuenta con información disponible por hora, se hace recomendaciones según la actividad que desempeña. A este tipo de usuario también se le recomienda hacer programas de gestión y ahorro de energía y al operador se le recomienda hacer un análisis adecuado para identificar las horas valle de consumo del usuario e incentivar consumos de energía en estas horas.

Tabla 17. Características de los tipos de usuarios para definir un sistema tarifario diferencial. [Autor]

5.3 SIMULACIÓN DE CONTINGENCIAS DE LA MICRO-RED EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO.

5.3.1 DEFINICIÓN DEL ORDEN DE PRIORIDADES PARA LAS CARGAS.

Para la automatización de procesos de gestión de cargas sensibles y críticas en el sistema es necesario definir la prioridad de las cargas según su tipo, para estos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de carga: En la carga crítica puede estar en peligro la vida humana como es el caso de los hospitales, por lo tanto este tipo de cargas tienen la mayor prioridad en el sistema.
- Tipo del usuario y su actividad: Con este criterio se pone en prioridad la educación, la seguridad y los servicios públicos básicos sobre los fines comerciales.

- Consumo del usuario: Como criterio final se escogen las cargas con menor consumo con el fin que sea más fácil para el sistema abarcar el mayor número de usuarios en caso de contingencia.

En estos casos, hay que considerar que las contingencias son de tiempo limitado, por tal razón entraría el grupo electrógeno a generar la energía necesaria.

Las prioridades de las cargas se establecen en la Tabla 18 y sirven también para definir la ubicación del grupo electrógeno y cumplir con las prioridades establecidas.

Prioridad	USUARIO	CONSUMO MENSUAL [kW-h]	TIPO DE CARGA	TIPO DE USUARIO
1	CRA 33A 18 HOSPITAL MILITAR QUINTA BRIGADA	98963,08	Critica	Hospitales
2	CLL 30A 33 51 ÁLVAREZ - UCC	62861,54	Sensible	Educación
3	CLL 32 44 3 QUINTA BRIGADA	83505,46	Sensible	Administrativos
4	CLL 32 44 3 AMB	98984,88	Sensible	Administrativos
5	CRA 33 45-52 METROPOLITAN BUSSINES PARK	39235,23	Sensible	Administrativos
6	CRA 31 34 27 HOTEL CHICAMOCHA	93776	Sensible	Hoteles
7	CLL 47 28 73 HOTEL DANN CARLTON	180361,62	Sensible	Hoteles
8	CLL 42 29 57 MERCADEFAM CABECERA LOCALES	35907,46	Sensible	Otras cargas
9	CRA 35 51 63 CABECERA DEL LLANO III ETAPA	4234,16	Sensible	Centros comerciales
10	CRA 35A 49 55 CCIAL 4TA ETAPA CABECERA	73935	Sensible	Centros comerciales
11	CRA 36 49 45 CCC LA QUINTA	134246,15	Sensible	Centros comerciales
12	CRA 29 45 45 CABECERA	148859,08	Sensible	Otras cargas
13	CLL 41 31 120 CCO MERCADEFAM LTDA	181567,71	Sensible	Centros comerciales
14	CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 2	222507,69	Sensible	Centros comerciales
15	CRA 33A 29 15 CCO CARREFOUR MEDIDOR 1	238466,88	Sensible	Centros comerciales
16	CRA 33A 34 AVD. Q SECA-MEGAMALL	539430,69	Sensible	Centros comerciales
17	CRA 35A 49 55 DISCOTECA LA CALLE	2184,02	Sensible	Otras cargas

Tabla 18. Orden de prioridades para las cargas del sistema. [Autor]

5.3.2 SELECCIÓN DEL GRUPO ELECTRÓGENO.

Para cumplir con las prioridades establecidas en la Tabla 18, se escogen equipos de los que se encuentran en el portafolio de la empresa Try-energy para atender primordialmente los primeros 3 usuarios.

Se proponen 2 equipos de la serie QSK19G ²¹ que cumplen con las características requeridas por el sistema, cuentan con una potencia de salida de 334 kW de 60 Hz e incluyen un motor a gas natural de encendido por chispa de 6 cilindros y 19 litros con turbo cargador y post-enfriamiento, De esta forma el grupo electrógeno está en capacidad de suministrar 668 kW para suplir energía a los usuarios según las prioridades definidas en la Tabla 17. Se recomienda un equipo por cada carga a suplir.

5.3.3. LÓGICA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE GESTIÓN DE CARGAS.

Para la automatización de procesos de gestión de cargas, se presenta un diagrama lógico el cual muestra algunas de las tantas situaciones que se pueden presentar y la respuesta del sistema para enfrentar dicha situación.

La Figura 42 muestra la lógica a seguir por el sistema de la micro-red cuando la red convencional, sus datos de entrada y de salida y su forma de actuar según las condiciones del sistema.

Físicamente, el nivel de tensión del panel solar indica la cantidad de radiación solar directa que recibe, lo cual este es el parámetro de referencia para el sistema de control y comunicación. Las variables de entrada del sistema son los datos suministrados por los medidores del panel, de los usuarios y de la red de energía convencional y las variables de salida son el estado de los reconectores de los usuarios y los sistemas de generación de energía.

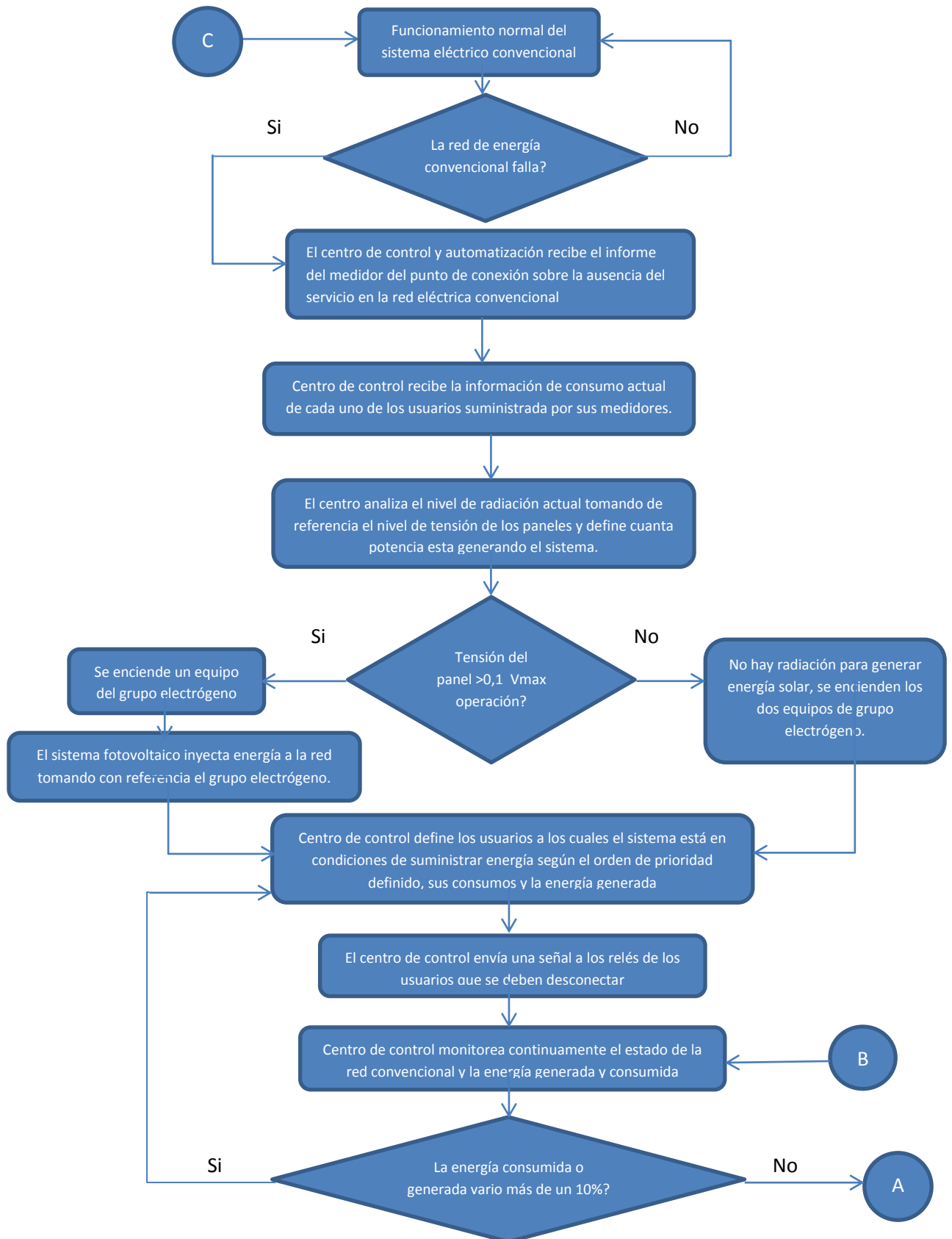
Para estos se establecen las siguientes variables de entradas:

- Estado del servicio red eléctrica convencional.
- Cantidad de radiación solar que llega a los paneles y su potencia generada.
- Consumo actual de los usuarios.

Y la siguiente variable de salida:

- Estado actual del relé de conexión de los usuarios y los equipos de generación.

²¹ Equipos seleccionados según datos del catálogo de la empresa Cummins Power Generation. Información disponible en la página web: <http://cumminspower.com/es/products/generators/leanburn/>



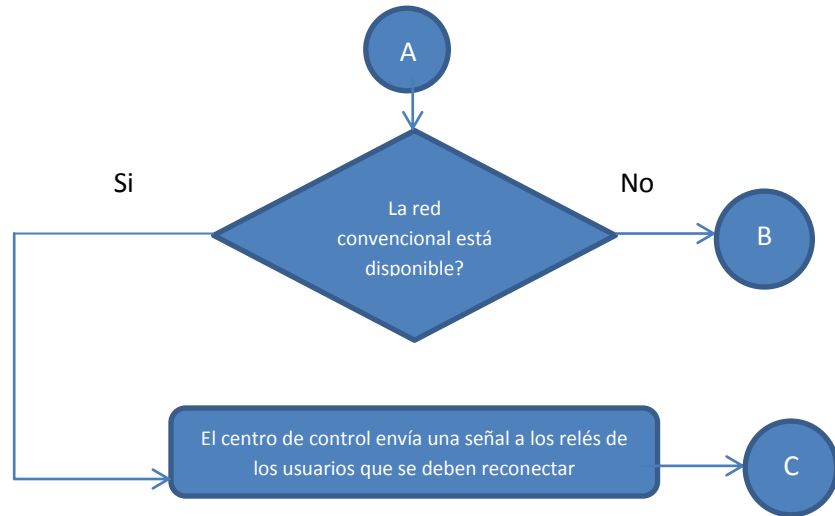


Figura 42. Diagrama lógico del sistema para la gestión de cargas por el sistema. [Autor]

5.3.4. ANÁLISIS SEGÚN EL TIPO DE CONTINGENCIA.

Para la simulación de contingencias y la automatización de la red, se usa nuevamente el software PowerWorld y se consideran 3 casos puntales que involucran el no funcionamiento de la micro-red, la red de energía convencional y el caso crítico que ninguno de los dos funcione.²²

Para la realización de las simulaciones de contingencias igualmente que en las simulaciones de régimen permanente, se consideró nuevamente que debido a que el sistema cuenta con pocos usuarios (17 usuarios en total) el sistema es sencillo, por lo tanto el objetivo de dichas simulaciones es verificar el cumplimiento de la regulación de tensión en todos los puntos de la red, verificar la capacidad del sistema de suplir energía eléctrica a los usuarios y analizar esta información en los usuarios que aun queden conectados. Se resalta que en todas las simulaciones de contingencias la agrupación de tipos de cargas considera el orden de prioridad de la Tabla 16.

Es importante tener en cuenta que gracias a los indicadores FES y DES de la línea, estos usuarios cuentan con gran confiabilidad del servicio de energía eléctrica, y permite que estas contingencias generalmente sean de corta duración.

²² Simulaciones disponibles en el anexo A.

- **CONTINGENCIA 1:** La micro-red no funciona.

En la Figura 43 se muestra la simulación de esta contingencia y la Figura 44 se muestran los resultados de la simulación del sistema en el caso que la micro-red no funcione o se encuentre desconectada (Visualmente se puede observar si un elemento de la red está conectado ya que el cuadrado que tiene cada elemento representa un interruptor, si esta de color rojo es conectado, si esta de color blanco esta desconectado).

Se puede observar que no hay interrupción del servicio ya que la red eléctrica convencional se encuentra en condiciones y en capacidad de suplir la potencia requerida por los usuarios y no es necesario el uso del grupo electrógeno. El voltaje de los usuarios se mantiene dentro de los márgenes permisibles por la regulación: $\pm 5\%$.

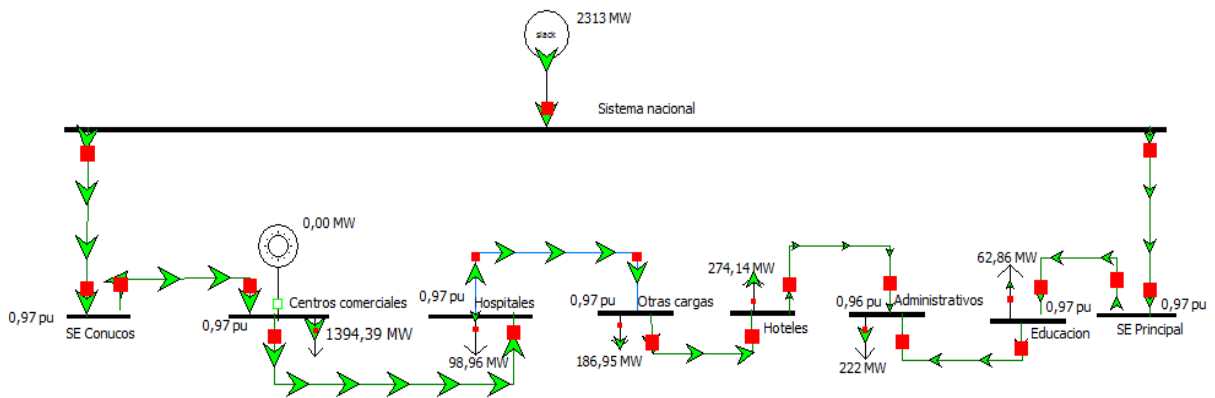


Figura 43. Simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 1.

Number	Name	Nom kv	PU Volt	Volt (kv)	Angle (Deg)	Load MW	Gen MW
1	SE Conucos	34,50	0,97006	33,467	-7,44		
2	Centros comerciales	34,50	0,96716	33,367	-7,46	1394,39	0,00
3	Hospitales	34,50	0,96627	33,336	-7,47	98,96	
4	SE Principal	34,50	0,96552	33,310	-7,52		
5	Otras cargas	34,50	0,96552	33,311	-7,48	186,95	
6	Hoteles	34,50	0,96504	33,294	-7,49	274,14	
7	Administrativos	34,50	0,96496	33,291	-7,50	221,73	
8	Educacion	34,50	0,96519	33,299	-7,51	62,86	
9	Sistema nacional	34,50	1,00000	34,500	-4,08		2312,79

Figura 44. Resultados de la simulación del sistema en caso de la contingencia 1.

- **CONTINGENCIA 2:** La red eléctrica convencional no funciona. (Operación en isla del sistema)

Para el caso de la simulación de esta contingencia, se simula el sistema incluyendo los equipos del grupo electrógeno, como la simulación está planteada en valores mensuales, la potencia generada por el grupo electrógeno se aumenta proporcionalmente para su análisis. Es necesario mantener conectadas solo las cargas más primordiales mientras se restablece el servicio considerando el orden de prioridad definido en la Tabla 15. La simulación de esta contingencia y sus resultados se observa en la Figura 45 y Figura 46.

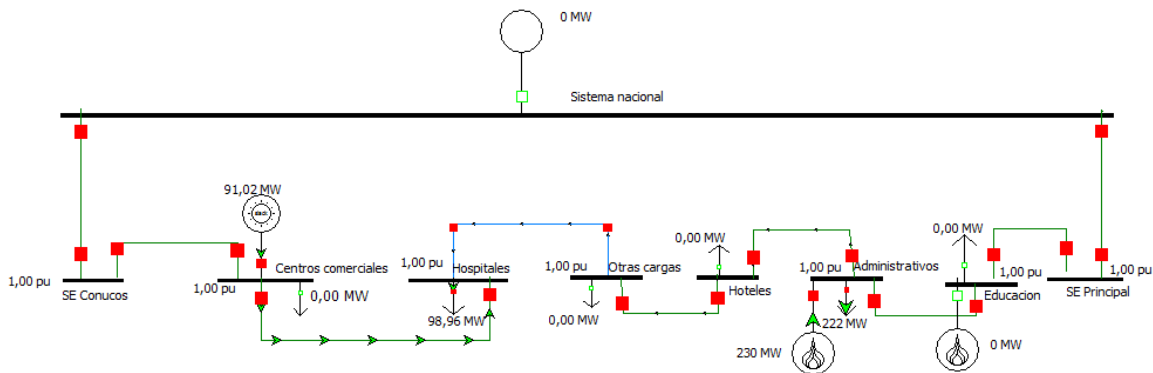


Figura 45. Simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 2.

Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Gen MW
1	SE Conucos	1	34,50	1,00000	34,500	-4,10		
2	Centros comerciales	1	34,50	1,00000	34,500	-4,08	0,00	91,02
3	Hospitales	1	34,50	0,99990	34,496	-4,10	98,96	
4	SE Principal	1	34,50	1,00000	34,500	-4,15		
5	Otras cargas	1	34,50	0,99993	34,498	-4,12	0,00	
6	Hoteles	1	34,50	0,99997	34,499	-4,14	0,00	
7	Administrativos	1	34,50	1,00000	34,500	-4,16	221,73	230,00
8	Educacion	1	34,50	1,00000	34,500	-4,15	0,00	0,00
9	Sistema nacional	1	34,50	1,00000	34,500	-4,13		0,00

Figura 46. Resultados de la simulación del sistema en caso de la contingencia 2.

En este caso se mantuvieron conectadas únicamente las cargas de los usuarios: Hospitales, Educación y Administrativos por el orden de prioridad de las cargas, para satisfacer estas demandas de energía se enciende un equipo del grupo electrógeno a casi un 96% de su capacidad nominal de suministro. De esta forma, la micro-red suministraría energía eléctrica al 15% de los usuarios totales de la línea.

Para todos estos tipos de usuarios se requiere la implementación de reconectores que permitan conectar a la microred de forma automática., además se observa que los valores de voltajes de todos los puntos del sistema se mantienen dentro del margen permisible por la regulación.

- **CONTINGENCIA 3:** La red fotovoltaica y la red eléctrica convencional no funcionan.

Para esta situación al igual que en la anterior, es necesario mantener conectadas solo las cargas más primordiales mientras se restablece el servicio, el orden de prioridad es el mismo definido en la Tabla 15. En la Figura 47 se observa la simulación del sistema en este caso y en la Figura 48 se observan los resultados de dicha simulación.

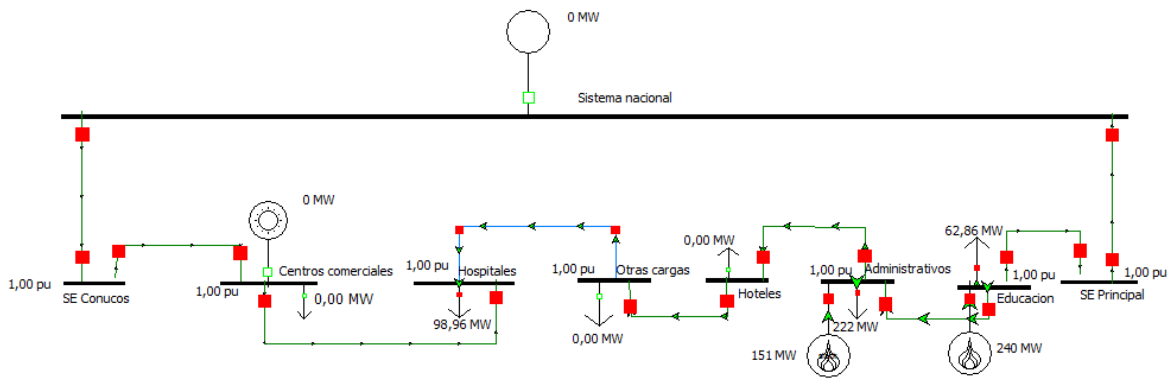


Figura 47. Simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 3.

Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Gen MW
1	SE Conucos	1	34,50	0,99981	34,493	-3,55		
2	Centros comerciales	1	34,50	0,99965	34,488	-3,55	0,00	0,00
3	Hospitales	1	34,50	0,99964	34,487	-3,55	98,96	
4	SE Principal	1	34,50	0,99998	34,499	-3,37		
5	Otras cargas	1	34,50	0,99976	34,492	-3,55	0,00	
6	Hoteles	1	34,50	0,99988	34,496	-3,55	0,00	
7	Administrativos	1	34,50	1,00000	34,500	-3,55	221,73	150,68
8	Educacion	1	34,50	1,00000	34,500	-3,37	62,86	240,00
9	Sistema nacional	1	34,50	0,99998	34,499	-3,55		0,00

Figura 48. Resultados de la simulación de la red eléctrica en el caso de la contingencia 3.

En este caso se mantuvieron conectadas las cargas de los usuarios: Hospitales, Educación y Administrativos por el orden de prioridad de las cargas, para satisfacer las demandas de energías de estos usuarios se pone en funcionamiento los 2 equipos de

grupo electrógeno, el primero a máxima capacidad y el segundo aproximadamente al 63% de su capacidad máxima de suministro. Para todos estos tipos de usuarios se requiere la implementación de reconectores que permitan conectar a la microred de forma automática. De esta forma, la micro-red suministraría energía eléctrica al 15% de los usuarios totales de la línea.

En este caso también se mantienen los valores de tensión en todos los puntos conectados al sistema.

CONCLUSIONES

- Para los casos puntuales de energía eólica, gran parte del país cuenta con limitantes debido a que por su ubicación geográfica no existen vientos que desarrollen un potencial adecuado de generación para alimentadores como el analizado en el proyecto por lo cual no se convierte en un tipo de energía recomendable para desarrollar en la región. Para el caso de la energía solar fotovoltaica, analizando la información de radiación solar obtenida contamos con un gran potencial de generación de energía ya que tenemos disponibilidad durante 11 horas al día, los 365 días del año (sin considerar días nublados y/o de tormenta) con muy poca variación en el año. Gracias también a la posición geográfica en la que se encuentra el país la radiación tiene una incidencia casi directa ya que llega con un ángulo de inclinación igual al de su latitud que para la zona metropolitana de Bucaramanga es de 7,23°. De esta forma, y a pesar del hecho que en el país existe un marco regulatorio, normatividades e instituciones del gobierno destinadas sobre el tema de inclusión de energías alternativas hay muchas oportunidades para mejorar e incentivar el uso de este tipo de fuentes de energía eléctrica para lograr poner al día al país con el nivel de los proyectos que se han desarrollado a nivel mundial.
- Para la selección de un alimentador adecuado para la aplicación de una micro-red, se deben aplicar metodologías que consideren características o condiciones mínimas que debe cumplir, en el caso puntual de Bucaramanga y para el caso específico de este proyecto donde se tuvo principal énfasis en las cargas sensibles y críticas se encontró que existen zonas que concentran un gran porcentaje de ellas y comparten un mismo sistema alimentador de energía como la carrera 33 y la autopista a Floridablanca, lo que convierte estas zonas en potenciales objetos de estudio y aplicación de estos sistemas. Además es de gran importancia mantener disponible y actualizada la información del sistema para definir adecuadamente sus componentes, así el marco legal en el que se encuentran los operadores de red de energía eléctrica los obligue a tener dicha información, es notoria la necesidad de una mayor integración industria-universidad que permita llevar a cabo más proyectos sobre este tipo de temas.
- En el dimensionamiento un sistema de generación de energía eléctrica con fuentes alternativas y para definir su capacidad de suministro de energía es necesario tener en cuenta una gran cantidad de factores que afectan la cantidad total de energía disponible a generar, en el caso del sistema fotovoltaico estos factores deben ser como mínimo deben ser: área total disponible, pérdidas por equipos que integran el sistema (paneles, inversores, reguladores, baterías y regulador), pérdidas por cableado, eficiencia de los equipos del sistema y la

cantidad de energía que el panel deja de recibir debido a su ubicación si se encuentra estático. Todos estos factores dan cuenta que aún hay muchas posibilidades de investigación para mejorar estos sistemas y así convertir este tipo de fuente de generación alternativa en una fuente que represente rentabilidad al sistema eléctrico.

- Una micro-red inteligente es un sistema que permite implementar fuentes no convencionales de energía para incentivar un desarrollo más sostenible. Y aunque en el país se tiene como fuente principal de generación una fuente renovable (hidráulica) es importante fomentar la implementación de otros tipos de fuentes de energía que tengan menor impacto sobre el medio ambiente aprovechando que ya existe infraestructura útil para implementar estos sistemas como lo son las conexiones existentes en la red, los equipos de tele-medida y los sistemas de control y comunicación que ayudaran a dar características de inteligencia y facilitarían a la eventual inclusión de la micro-red en el sistema.
- Una micro-red inteligente es un sistema que por medio de intercambio de información digital permite la integración de la generación, transmisión, distribución y consumo de energía que genera grandes beneficios como reducir costos del servicio al disminuir pérdidas reduciendo distancias entre generación y consumo, disminuir pérdidas de energía en el sistema eléctrico, mejorar eficiencias del sistema, garantizar mejoras en la calidad de suministro y confiabilidad del sistema de energía eléctrica y reducir emisiones de carbono implementando fuentes no convencionales de energía que a su vez permita incentivar un desarrollo limpio y sostenible. Su implementación en el país representa un desafío y requiere un mayor esfuerzo por parte de las instituciones colombianas como las universidades, la UPME, el IPSE, COLCIENCIAS y el ministerio de minas y energía y otras instituciones que poseen potencial para trabajar en el tema y pueden generar aportes valiosos, de tal forma que se gestione normatividad y estudios que permitan avanzar más hacia la aplicación de este nuevo concepto en el país donde ideas como la aplicación de una tarifa diferencial ayudaría a incentivar la aplicación de estos sistemas.
- Una de las características de mayor relevancia y que representa uno de los mayores beneficios de la aplicación de micro-redes es la posibilidad de gestionar y controlar los consumos de energía de los usuarios en los casos donde no haya disponibilidad para todos los usuarios, para hacer un uso adecuado del sistema es importante tener definidas previamente los usuarios más prioritarios del sistema y considerar también la posibilidad que en algún momento del tiempo estas prioridades pueden cambiar según la actividad que el usuario este desempeñando,

el sistema debe estar en capacidad de responder de forma inmediata a los diferentes casos que se puedan presentar para garantizar el suministro del servicio a los usuarios más prioritarios.

- Para describir los componentes de una micro-red inteligente de un sistema de distribución se tuvo que aplicar muchos conceptos adquiridos durante la preparación de la carrera profesional, principalmente se aplicaron conocimientos de cursos como sistemas de distribución eléctrica, energía y medio ambiente, y sistemas eléctricos de potencia. Estos conocimientos junto con la aplicación de metodologías adecuadas trabajadas durante toda la vida universitaria permitieron llegar a un proyecto de investigación con puntos de inicio y partida claramente definidos cumpliendo con parámetros profesionales de un trabajo de ingeniería y que se matizaron en la selección de un alimentador adecuado para el estudio y la elaboración en este de un modelo de micro-red que integra fuentes alternativas de energía estimando su capacidad de suministro de energía al sistema y la automatización del sistema para gestionar sus prioridades y obtener los beneficios que traen la aplicación de estos sistemas.
- Los paneles solares fotovoltaicos tienen una eficiencia entre el 10-20% lo que son relativamente bajas, por lo que aún hay muchas posibilidades de mejorar estas tecnologías para hacerlas cada vez más prácticas y aprovechar el hecho que la generación de energía solar fotovoltaica tiene un gran potencial en la región. Con los estudios y la investigación necesaria también se puede hacer que cada día los precios de los componentes de estos sistemas vayan descendiendo y así aprovechar este tipo de energía que es una muy buena opción alternativa para generar energía eléctrica. En país son muchos los centros educativos que cuentan con programas acordes al tema que están en capacidad de desarrollar investigación que permita lograr avances importantes en el tema.
- Existe una dificultad para obtener datos de condiciones ambientales y de información de los usuarios por parte de las empresas encargadas. Durante el desarrollo del proyecto se obtuvo gran cantidad de información valiosa pero es necesario trabajar en la actualización de la información por parte de las entidades y las personas encargadas para lograr una mayor confiabilidad en los datos y así en un futuro incentivar la gestión de proyectos y estudios técnicos que permitan implementar el uso de micro-redes inteligentes. Una base de datos con información adecuada y de respaldo del tema manejada por una entidad del estado que pueda garantizar su espíritu de “pública” puede generar muchos aportes al tema y representaría una solución a este inconveniente.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Serrano Méndez, C. López Cabrera, and M. Iturrale Vinent, "Introducción al conocimiento del MEDIO AMBIENTE," p. 32.
- [2] M. Energía, "Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia," 2013.
- [3] M. de M. y Energía and Upme, "Proyección de Demanda de Energía en Colombia," p. 90, 2010.
- [4] UPME and Colombia. Ministerio de Minas y Energía, "Programa estratégico nacional gestión integral de la energía en centros productivos GIE," p. 19.
- [5] O. Industrial, "SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED," pp. 1–82, 2011.
- [6] "El sector eléctrico Colombiano y las nuevas Tecnologías de Energías Renovables." [Online]. Available: http://www.teconex.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13:el-sector-electrico-colombiano-y-las-nuevas-tecnologias-de-energias-renovables&catid=3:noticias.
- [7] "Desarrollo e implantación de energías renovables," pp. 17-42.
- [8] C. D. E. Energía, R. R. Yee, O. V. González, L. C. Romero, and C. Humberto, "FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE) VOLUMEN 1 PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA Presentado a : UPME Por : CorpoEma," 2010.
- [9] C. J. Pineda Suarez and M. Giraldo, *Futuro de la electricidad, hidrocarburos y energías alternativas.*, 1st ed. Bogotá: Fundación Politécnico Grancolombiano, 2007, p. 307.
- [10] Gtz, "Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe.," p. 159.
- [11] F. Javier and S. Alzate, "Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica Normatividad de Energía Solar Térmica y Fotovoltaica," 2012.
- [12] G. E. Residencial, "CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL . Walter Gómez Rodríguez Gustavo Adolfo Archila Ramírez," 2012

- [13] "Mapa de Radiación Solar Global Promedio multianual mes de diciembre Escala 1:7.000.000," p. 1600000.
- [14] CREG. "Diseño del alcance de la auditoría Informe Final Noviembre 2011," 2011.
- [15] J. P. Fossati, "Literature review of microgrids," vol. 9, 2011.
- [16] J. G. García Badell and M. Á. Moreno Fdez, *Energía verde*, 1st ed. Madrid: Bellisco. Ediciones Técnicas y Científicas., 2009, p. 258.
- [17] Solar, "Energía fotovoltaica." New Mexico State University [Online]. Available: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html.
- [18] C. D. E. Energía, R. R. Yee, O. V. González, L. C. Romero, and C. Humberto, "FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE) VOLUMEN 2 DIAGNOSTICO DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA Presentado a : UPME Por : CorpoEma," 2010.
- [19] S. C. Romero Aparicio, "Metodología para la formulación de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos," p. 134, 2010.
- [20] A. O. Pinto, "Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander," 2011.
- [21] P. Vergara and J. Manuel Rey, "Diseño de una microred de baja tensión para el laboratorio de integración energética del parque tecnológico de guatiguará," 2012.

BIBLIOGRAFÍA

- A. O. Pinto, "Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander," 2011
- C. D. E. Energía, R. R. Yee, O. V. González, L. C. Romero, C. Energético, and C. Humberto, "FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE) VOLUMEN 1 PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA Presentado a : UPME Por : CorpoEma," 2010
- C. D. E. Energía, R. R. Yee, O. V. González, L. C. Romero, C. Energético, and C. Humberto, "FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE) VOLUMEN 2 DIAGNOSTICO DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA Presentado a : UPME Por : CorpoEma," 2010
- G. E. Residencial, "CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL . Walter Gómez Rodríguez Gustavo Adolfo Archila Ramírez," 2012
- J. P. Fossati, "Literature review of microgrids," vol. 9, 2011.
- P. Vergara and J. Manuel Rey, "Diseño de una microrred de baja tensión para el laboratorio de integración energética del parque tecnológico de guatiguará," 2012.
- S. C. Romero Aparicio, "Metodología para la formulación de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos," 2010

ANEXOS

Adjunto a este documento se encuentran los siguientes archivos en formato digital que sirvieron como base de información para el desarrollo del proyecto y el respectivo software necesario para acceder a ellos.

- Datos Radiación Solar 2002-2008 (Excel)
- Catalogo módulos fotovoltaicos – CambioSolar (PDF)
- Catalogo medidor ION8650 (PDF)
- Catalogo inversor trifasico 120V fase (PDF)
- Datos línea 403 ESSA (Carpeta)
 - Datos línea 403 Conucos-Principal (Excel)
 - Datos consumo clientes tele-medida (Carpeta)
 - Acueducto administración (Excel)
 - Cabecera III etapa (Excel)
 - Carrefour (Excel)
 - Discoteca La Calle (Excel)
 - Hotel Chicamocha (Excel)
 - Hotel Dann Carlton (Excel)
 - Mercadefam Cra 33 (Excel)