

Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Maestría en Ingeniería Eléctrica



# Diseño de una red de gestión con base en el estándar IEC 61850 del sistema de control y protección de una micro-red eléctrica

Autor:

Sebastian Enrique Rodriguez Osorio

Director:

Javier Andrés Ruiz Garzón

Bogotá D.C, Colombia

Mayo, 2023



Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Maestría en Ingeniería Eléctrica

# Diseño de una red de gestión con base en el estándar IEC 61850 del sistema de control y protección de una micro-red eléctrica

**Sebastian Enrique Rodriguez Osorio**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magíster en Ingeniería Eléctrica**

con énfasis en:

**Recursos energéticos**

Director(a):

Javier Andrés Ruiz Garzón, MSc

Grupo de Investigación:

Modelación Estratégica de Energía y Potencia

Bogotá D.C, Colombia

2023, Mayo



# Aceptación del Jurado

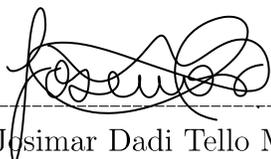
---

El Trabajo de grado de Maestría titulado **Diseño de una red de gestión con base en el estándar IEC 61850 del sistema de control y protección de una micro-red eléctrica**, presentado por **Sebastian Enrique Rodriguez Osorio**, cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito para optar al título de Magister en Ingeniería Eléctrica con énfasis en recursos energéticos.



---

Director: Javier Andrés Ruiz Garzón, MSc.



---

Jurado: Josimar Dadi Tello Maita, MSc.



---

Jurado: David Felipe Celeita Rodríguez, MSc, PhD.

Bogotá D.C, Colombia

Mayo, 2023



*Dedico este trabajo a mi familia, la cual me ha apoyado en todas mis metas, gracias por toda su comprensión y amor.*



# Agradecimientos

---

Debo agradecer de manera especial al profesor Javier Andrés Ruiz Garzón por guiarme en el desarrollo de esta tesis de grado, por su apoyo y confianza. Adicionalmente, quiero agradecer a SIEMENS empresa en la que trabajo y que me ha dado todo el soporte para poder culminar mis estudios de maestría, por último y más importante, quiero agradecer a mi familia que ha sido el pilar para cumplir todas las metas que me he propuesto en la vida.



# Resumen

---

El estándar de comunicaciones IEC 61850 es ampliamente usado para la automatización de sistemas de generación y transmisión eléctrica. Este estándar ha tenido un gran impulso en los últimos años dado por la revolución digital, entregando grandes beneficios al sector energético, uno de ellos la reducción de cables de cobre para la transmisión de señales análogas y así dar paso a la transmisión de paquetes de información mediante fibra óptica para la supervisión, control y protección de los sistemas eléctricos.

Es así que, el presente proyecto desarrolla una propuesta de digitalización de una micro-red, diseñada para un conjunto residencial en Bogotá, Colombia con una arquitectura en anillo HSR (high-availability seamless redundancy). Para lo cual se establece en un primer paso un posible sistema de generación óptimo para autoconsumo con herramientas computacionales como Homer-pro 3.14.2, adicionalmente, se realiza la integración eléctrica del sistema propuesto con la red existente en el conjunto mediante simulación con Etap 20.6.0. Finalmente se utiliza la herramienta computacional CISCO packet tracer 7.3.0 para simular la interconexión y operación en control y protecciones de la micro-red eléctrica del conjunto residencial. En este documento se propone y desarrolla una micro-red digital basada en protocolos abiertos y equipos genéricos para una fácil reproducción. Las conexiones y comunicaciones entre equipos fueron desarrollados con la herramienta computacional CISCO packet tracer para dar al lector la idea del funcionamiento de la red digital en una micro-red.



# Abstract

---

The IEC 61850 standard implemented widely for generation and electric transmission systems automation, has had an important boost given by the digitization revolution, bringing big benefits to the electrical sector because of the reduction of electric cables used for analog signals stepping aside letting the way to optical fiber and digital systems with redundancy communications for supervision, control, and protection.

Therefore, this project developed a proposal for a digital transformation of a microgrid, designed for an existing building apartment in Bogotá, Colombia with an HSR (high-availability seamless redundancy) network protocol. It establishes an optimal generation system for the buildings using simulation tools such as Homer-pro 3.14.2 and integrates this generation to the existing electric system for complete electrical analysis with Etap 20.6.0, finally, CISCO packet tracer 7.3.0 is used to simulate the micro-grid network for control and protection.

In this document, a digital Microgrid solution is proposed and developed based on open protocols and generic equipment for easy reproduction or implementation. Connection and communication between control, protection, and metering devices were evaluated with CISCO software to give the idea of a common work of a network architecture implemented in a microgrid.



# Contenido

---

Agradecimientos . . . . .	III
Resumen . . . . .	VI
Abstract . . . . .	VIII
Contenido . . . . .	IX
Lista de figuras . . . . .	XV
Lista de tablas . . . . .	XVII
Lista de símbolos . . . . .	XIX
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	3
1.2. Estado del arte . . . . .	3
1.2.1. Moku o lo'e . . . . .	4
1.2.2. Smart City Shioashiya Solar-Shima . . . . .	5
1.2.3. Modelamiento del sistema de control de una Micro-red . . . . .	6
1.2.4. Modelamiento en IEC 61850 de micro-red adaptable hibrida AC/DC . . . . .	10
1.3. Objetivos . . . . .	12
1.3.1. Objetivo general . . . . .	12
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	12
1.4. Metodología . . . . .	12
1.5. Organización del documento . . . . .	15
<b>2. Marco teórico</b>	<b>17</b>
2.1. Generación eólica . . . . .	17
2.2. Generación solar fotovoltaica . . . . .	19
2.3. Sistema de almacenamiento . . . . .	20
2.3.1. Baterías . . . . .	22
2.4. Protocolo de comunicaciones IEC 61850 . . . . .	25
2.4.1. Protocolo 61850-8-1 GOOSE . . . . .	28
2.4.2. Protocolo IEC-61850-9-2 Sampled Values . . . . .	31

2.5.	Arquitecturas de comunicación . . . . .	32
2.5.1.	Ventajas y desventajas configuración RSTP . . . . .	33
2.5.2.	Ventajas y desventajas configuración PRP . . . . .	33
2.5.3.	Ventajas y desventajas configuración HSR . . . . .	34
2.6.	Micro-red . . . . .	35
<b>3.</b>	<b>Modelos del sistema</b>	<b>41</b>
3.1.	Diseño del modelo óptimo de generación . . . . .	41
3.1.1.	Costo de los Componentes . . . . .	42
3.1.2.	Recursos energéticos . . . . .	44
3.2.	Modelo eléctrico micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	45
3.3.	Arquitectura de comunicaciones micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	48
<b>4.</b>	<b>Caso de estudio</b>	<b>51</b>
4.1.	Ubicación geográfica . . . . .	51
4.2.	Dimensión . . . . .	52
4.3.	Sistema eléctrico . . . . .	53
4.4.	Consumo . . . . .	53
<b>5.</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>55</b>
5.1.	Sistema óptimo de generación . . . . .	55
5.1.1.	Paneles fotovoltaicos . . . . .	56
5.1.2.	Generadores eólicos . . . . .	57
5.1.3.	Almacenamiento en baterías . . . . .	58
5.1.4.	Red local Codensa . . . . .	58
5.1.5.	Comportamiento diario de la Micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	60
5.2.	Sistema eléctrico micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	61
5.2.1.	Paneles fotovoltaicos . . . . .	62
5.2.2.	Generadores eólicos . . . . .	63
5.2.3.	Almacenamiento en baterías . . . . .	64
5.2.4.	Red local Codensa . . . . .	65
5.2.5.	Comportamiento diario de la Micro-red conjunto residencia Dalí . . . . .	66
5.3.	Red de gestion micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	68
5.3.1.	Sistema de control VLAN 10 . . . . .	70
5.3.2.	Sistema de protección VLAN 20 . . . . .	72
5.3.3.	Sistema de medida VLAN 30 . . . . .	73

<i>CONTENIDO</i>	XI
<b>6. Conclusiones</b>	<b>75</b>
6.1. Conclusiones generales . . . . .	75
6.2. Aportes . . . . .	76
6.3. Trabajos futuros . . . . .	77
<b>Referencias</b>	<b>79</b>
<b>Anexos</b>	<b>81</b>
<b>Anexos</b>	<b>83</b>
A. Óptimo de generación de una micro-red eléctrica	84
B. Diagrama unifilar existente conjunto residencial Dalí	96
C. Diagrama unifilar micro-red conjunto residencial Dalí	99
D. Informe sistema eléctrico micro-red caso de estudio ideal	101
E. Informe sistema eléctrico micro-red caso de estudio nublado	114



# Lista de Figuras

---

1.1.	Ecosistema de modelo de negocios disponibles en torno a una micror-red,[1]	1
1.2.	Micro-red de Moku o Lo'e,[1][10]	4
1.3.	Comportamiento de las viviendas respecto a sus necesidades energéticas en la Smart City Shioashiya,[1] [11]	5
1.4.	Balance de energía total distrito Shioashiya,[1][12]	6
1.5.	Gestión de la energía mediante el sistema de control local y remoto de la micro-red,[1][11]	6
1.6.	Estructura funcional control de micro-red, imagen reconstruida de [5][6]	7
1.7.	Unifilar caso de estudio diseño sistema de control para micro-redes,[6]	8
1.8.	Contribuciones energéticas a la micro-red importación/exportación de potencia en el punto de acople ,[6]	8
1.9.	Contribuciones energéticas a la micro-red minimización de costos de importe de potencia,[6]	9
1.10.	Control de la micro-red, suavizado de la generación de energía renovable, [6]	9
1.11.	Control de la micro-red, estrategia de corte carga/generación, [6]	10
1.12.	Micro-red hibrida AC/DC y su modelamiento lógico según IEC61850-7-420, [7]	11
1.13.	Diagrama de flujo metodología a desarrollar	14
2.1.	Macro-circulación del aire por influencia del sol, [14]	17
2.2.	Variación del viento con la altura, [15]	18
2.3.	Generadores comerciales, [14]	18
2.4.	Panel solar,[16], [17]	19
2.5.	Sistema típico de generación fotovoltaica,[17]	20
2.6.	Sistema de almacenamiento de energía,[16]	21
2.7.	Jerarquización de en una subestación en comunicaciones,[18]	26
2.8.	Protocolo <i>Cliente/Servidor</i> para el estándar IEC-61850, [2]	26
2.9.	Arquitectura de una micro-red,[2]	27
2.10.	Modelamiento de la micro-red,[2]	28

2.11.	Diagrama de flujo recolección y publicación de datos en <i>GOOSE</i> ,[20]	29
2.12.	Diagrama de flujo mensajería con prioridad en <i>GOOSE</i> ,[20]	29
2.13.	Modelo de capas OSI,[20]	30
2.14.	Habilitación de mensajería GOOSE típica en relés de protección y Merging Units, [20]	30
2.15.	Esquema de comunicaciones con <i>IEC-61850-9-2</i> ,[21]	31
2.16.	Comparación de configuración tradicional y con SV, [21]	32
2.17.	Secuencias asociadas a las funciones de transición,[5]	38
2.18.	Interacción entre el despacho y las funciones de transición,[5]	39
3.1.	Arquitectura eléctrica de la micro-red conjunto Dalí	41
3.2.	Tendencias globales de precio de los recursos de una micro-red, [25]	43
3.3.	Radiación diaria e índice de claridad en el conjunto residencial Dalí, POWER NASA	44
3.4.	Velocidad de viento promedio a 15m de altura en el conjunto Dalí, POWER NASA	44
3.5.	Arreglo generación y consumo torre residencial micro-grid conjunto Dalí	45
3.6.	Perfil consumo bloque residencial micro-red Dalí	46
3.7.	Perfil irradiancia en la micro-red Dalí	46
3.8.	Irradiancia en los paneles con base en la tabla 3.2	46
3.9.	Disposición física de generación y comunicación en la micro-red conjunto Dalí	50
4.1.	Conjunto residencial Dalí, Google maps	52
4.2.	Estratificación socioeconómica conjunto residencial Dalí,[24]	52
4.3.	Esquema básico unifilar sistema eléctrico existente conjunto residencial Dalí	53
4.4.	Curva de demanda eléctrica del usuario residencial estrato 4 de la ciudad de bogotá, [23]	54
4.5.	Curva de demanda eléctrica del conjunto residencial Dalí	54
5.1.	Resultados óptimos micro-red conjunto Dalí, anexo A	55
5.2.	Generación fotovoltaica en la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A	57
5.3.	Generación eólica en la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A	57
5.4.	Sistema de almacenamiento en baterías en la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A	58
5.5.	Compra de energía la red local por parte de la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A	59
5.6.	Comportamiento eléctrico de la micro-red conjunto Dalí en un día,Homer energy	60
5.7.	Comparación de generación eléctrica de la micro-red Dalí, anexos D y E	62

<b>5.8.</b> Comparación de generación fotovoltaica de la micro-red Dalí . . . . .	63
<b>5.9.</b> Generación fotovoltaica total micro-red Dalí . . . . .	63
<b>5.10.</b> Generación eólica micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	64
<b>5.11.</b> Generación baterías micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	65
<b>5.12.</b> Aporte de energía red local a micro-red conjunto residencial Dalí . . . . .	66
<b>5.13.</b> Comportamiento eléctrico micro-red conjunto Dalí, ETAP . . . . .	67
<b>5.14.</b> Comportamiento de la generación eléctrica micro-red conjunto Dalí y la red local, ETAP . . . . .	67
<b>5.15.</b> Arquitectura de comunicaciones de la micro-red del conjunto residencial Dalí	69
<b>5.16.</b> Diagrama de flujo información en la micro-red sistema publicador/subscriptor	70
<b>5.17.</b> Diagrama de flujo operación sistema de control . . . . .	71
<b>5.18.</b> Prueba de conexión TCP/IP PC central y Merging Unit bloque 7 . . . . .	71
<b>5.19.</b> Diagrama de flujo operación sistema de protección . . . . .	72
<b>5.20.</b> Configuración envío mensajería protección a merging unit . . . . .	73
<b>5.21.</b> Flujo de mensajería sistema de protección . . . . .	73
<b>5.22.</b> Sistema de monitorización de medida de la micro-red . . . . .	74



# Lista de tablas

---

<b>2.1.</b>	Baterías requeridas en los sistemas eléctricos dependiendo de su autonomía,[16]	24
<b>2.2.</b>	Niveles de tensión en corriente continua estandarizadas,[19]	24
<b>3.1.</b>	Tendencia global de precios de capacidades instaladas,[25]	42
<b>3.2.</b>	Tabla de eventos micro-red conjunto Dalí, anexo E	47
<b>3.3.</b>	Tabla comparación de protocolos, [26]	50
<b>5.1.</b>	Resumen de producción energética micro-red conjunto Dalí, anexo A	56
<b>5.2.</b>	Resumen de compra energética micro-red conjunto Dalí a la red local, anexo A	59
<b>5.3.</b>	Generación de la micro-red sistema ideal y nublado, anexo D y E	61



# Lista de abreviaturas

---

IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
HSR	High-availability Seamless Redundancy
PRP	Parallel Redundancy Protocol
SMV	Sampled Measured Value
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
EMS	Energy Management System
HEMS	Home Energy Management System
DG	Distributed Generation
MEMS	Microgrid Energy Management System
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
POI	Punto de interconexión
VLAN	Virtual LAN, red de área local virtual
PCH	Pequeña central hidroeléctrica



---

# Capítulo 1

## Introducción

---

A través del tiempo la generación eléctrica se ha realizado de la misma manera: centrales de generación grandes, robustas, contaminantes y apartadas de las ciudades. Contrastan con el desarrollo de la energía eólica y fotovoltaica como generadores alternativos. Se han dado varias ideas de como descentralizar la producción de energía. Una de estas han sido las micro-redes, una forma de obtener energía a pequeña escala con menor impacto contaminante que las convencionales; puesto que estas buscan producir energía a partir de fuentes renovables de forma local, es decir, en la misma localización que las cargas. Esta forma de generación se ha popularizado hace un tiempo y se ha creado todo un entorno de negocio totalmente estructurado como se puede ver en la imagen 1.1.

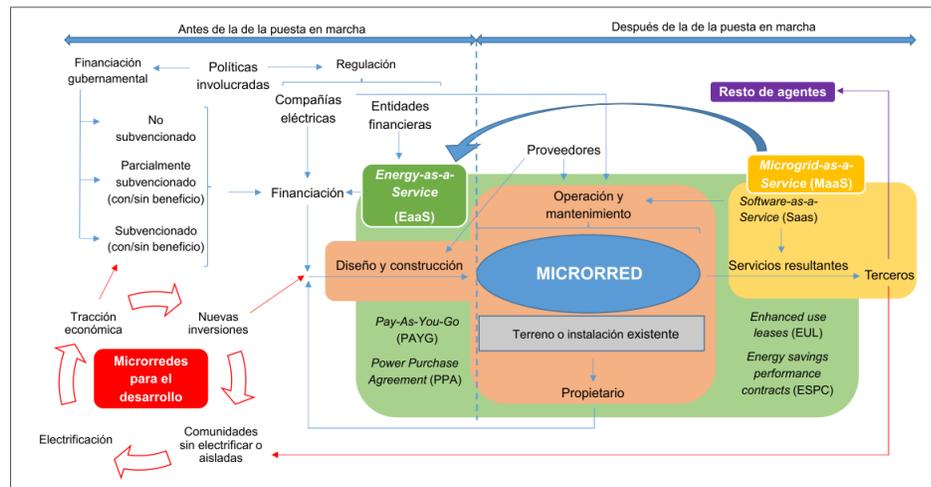


Figura 1.1: Ecosistema de modelo de negocios disponibles en torno a una micror-red,[1]

Muchos países han empezado a implementar estas formas de generación tomando el ejemplo de Japón y Estados Unidos, los cuales han contribuido fuertemente en el desarrollo de estas redes[1]. Adicionalmente, las micro-redes requieren de un centro de control que optimice la

generación, almacenamiento y distribución de energía en el sistema; como dijeron Meiqin Mao y Liuchen Chang: “Una micro-red es un sistema eléctrico integrado el cual cuenta con generadores distribuidos (DG) y cargas locales con interfaces electrónicas. Los generadores distribuidos deben ser controlados de forma coordinada para así mejorar la eficiencia de generación eléctrica, reducir las pérdidas y contaminación del medio ambiente”. [2].

Con base en lo anterior, el control de la micro-red debe ser eficiente y eficaz, debe estar en la capacidad de controlar y comunicarse con todos los componentes del sistema. Sin embargo, es bien sabido que muchos fabricantes de los distintos componentes que se tienen en la micro-red (generadores, almacenadores y cargas) usan sus propios protocolos de comunicación. Es por ello que se debe estandarizar la manera en la que todos los dispositivos hablan entre ellos para que así el controlador pueda operar de la mejor forma. Es aquí donde toma relevancia la IEC-61850 dado que este es la norma de comunicaciones para la automatización de subestaciones eléctricas la cual permite integrar todas las funciones de protección, control, medición y supervisión en una subestación, además de proporcionar los medios necesarios para aplicaciones de protección de subestaciones de alta velocidad, enclavamiento y arrastre.[3].

Este estándar es aplicable para las micro-redes con sus bondades y facilidades tales como [4]:

- Estación de ingeniería más sencilla y óptima.
- Soporte óptimo de requerimientos de operación individual.
- Protección de la inversión, fiable y completa incluso con migraciones.
- Listo para las Smart Grids y el futuro.
- Solución escalable, permite la adaptación individual de disponibilidad.
- Redundancia completa para la transmisión de datos fiables en cualquier momento.
- Soporta protocolos PRP (Parallel Redundancy Protocol), HSR (High-availability Seamless Ring Redundancy) y RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol).

Teniendo en cuenta las capacidades y beneficios de la IEC-61850 anteriormente mencionadas cabe la pregunta: ¿por qué no aplicar este protocolo a una micro-red con generación renovable, almacenamiento en baterías y conexión a la red local? Con esta aplicación del estándar y sus secciones 8 y 9 (GOOSE y SV) de comunicaciones la micro-red podría permitir obtener una redundancia completa para la supervisión, control y transmisión de datos fiables. Por lo anterior, el presente proyecto tiene como base el desarrollo de una propuesta de red de gestión digital del sistema de control y protección de una micro-red que se componga de generación renovable (eólica y solar fotovoltaica), almacenamiento en baterías y conexión a la red eléctrica con base en el estándar de comunicación mencionado.

## 1.1. Planteamiento del problema

Con el aumento de las micro-redes en el mundo y los nuevos desarrollos en tecnología se requiere controlar y proteger los sistemas eléctricos de forma fácil, rápida y eficiente, es por esto que en 2017 la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) emitió su estándar para las especificaciones de controladores de las micro-redes con el propósito de controlar de forma centralizada a través de los MEMS, sistemas de administración de energía eléctrica, los cuales buscan que las micro-redes se controlen automáticamente, conectadas o aisladas de la red eléctrica local. El propósito del estándar es definir los parámetros con los cuales el control de las micro-redes debe ser configurado sin importar la topología.[5]

Como consecuencia se debe pensar en una forma de realizar el control y protección de la micro-red cumpliendo con las recomendaciones del estándar previamente mencionado, para lo cual se opta por la norma de comunicación IEC-61850 que ha sido utilizada ampliamente en la automatización de subestaciones eléctricas y la cual ha proporcionado confiabilidad y eficiencia a la hora de proteger los sistemas a los que se les ha aplicado. Es por esto que se abordará como problema del presente trabajo de grado el diseño de la red de gestión con base en la norma IEC 61850 del sistema de control y protección de una micro-red eléctrica que se compone de generación renovable, almacenamiento en baterías y conexión a red eléctrica nacional.

## 1.2. Estado del arte

Las micro-redes eléctricas han tomado mucha fuerza desde comienzo del siglo XXI como parte de la solución a los problemas no solo energéticos de interconexión a las redes principales sino también de mitigación de problemas medioambientales. Esta forma de generación y distribución in situ ha tomado fuerza con el pasar de los años y con esto la idea de mejorarlas haciéndolas inteligentes para así gestionar de la mejor forma su energía. De este modo se han venido desarrollando las Smart Grids (redes inteligentes) las cuales a través de sistemas de control, analizan y administran sus componentes de generación y sus cargas para así tener un sistema capaz de autogestionarse para aprovechar al máximo sus recursos. A través de los años se han realizado varios estudios de posibles métodos de gestión de la información y la energía en sistemas de generación distribuida para mejorar y facilitar el uso de las micro-redes.

A continuación se presentan algunas micro-redes desarrolladas en el mundo con sistemas similares al deseado en el presente proyecto y en adición se hace referencia a diferentes estudios que postulan formas de controlar las micro-redes.

### 1.2.1. Moku o lo'e

La isla de Moku o lo'e hace parte del conjunto de islas de Hawái, la cual decidió en 2018 emprender una renovación de su matriz energética a un sistema renovable de 500kW. Un sistema con barra principal DC a la cual tanto generadores como cargas se unen a través de convertidores AC/DC y DC/DC como se observa en la figura 1.2 donde se pueden ver los sistemas de generación empleados en la micro-red en Moku o lo'e. La idea que se tiene contemplada en la isla es que al final de la implementación de la micro-red esta contenga[1]:

- Paneles fotovoltaicos de 368kW.
- Red de distribución de 380V (corriente continua).
- Sistema de control y comunicación para la actualización del sistema a red inteligente.
- Turbinas eólicas.
- Una célula de combustible de agua salada.
- Baterías.
- Una entrada para batería móvil de usos múltiples: para transporte; recarga móvil y uso de la micro-red en caso de emergencia.

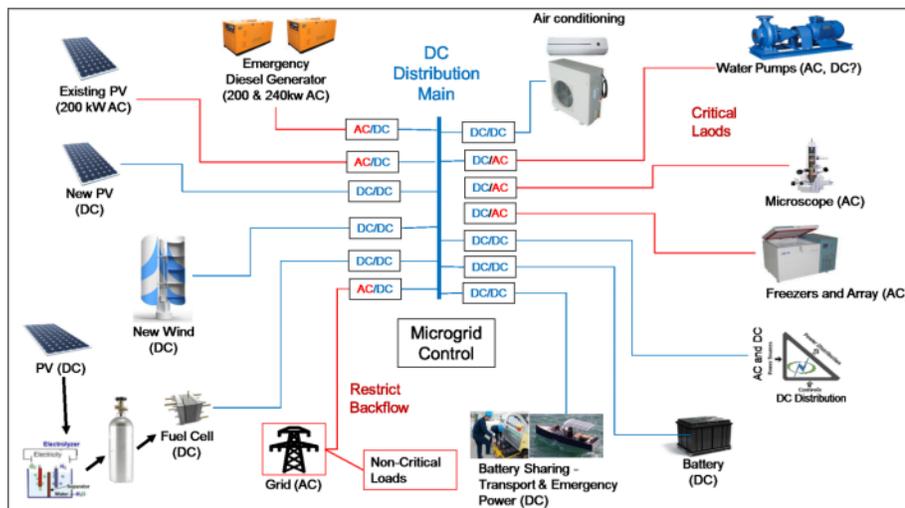


Figura 1.2: Micro-red de Moku o Lo'e,[1][10]

### 1.2.2. Smart City Shioashiya Solar-Shima

El proyecto Smart city fue lanzado en 2011 y se espera finalizar en 2023, la micro-red para la ciudad inteligente de Shioashiya se comenzó a instalar en 2017 y se puso en marcha para el 2018. La idea de esta ciudad inteligente es compartir energía entre las viviendas que la generan con paneles solares y así mantener la red eléctrica de los hogares disponible a pesar de caídas de la red principal.

La ciudad cuenta con [1] 500 viviendas de las cuales 117 poseen con paneles solares (4,6kW por vivienda), sistema de control para el consumo e intercambio de energía y baterías de 11,2kW por vivienda. Es interesante ver en la figura 1.3 que el 23% de los 117 hogares que generan energía venden excedentes de su generación y adicionalmente el 80% de las viviendas producen toda la energía que requieren dejando así libre la red local.

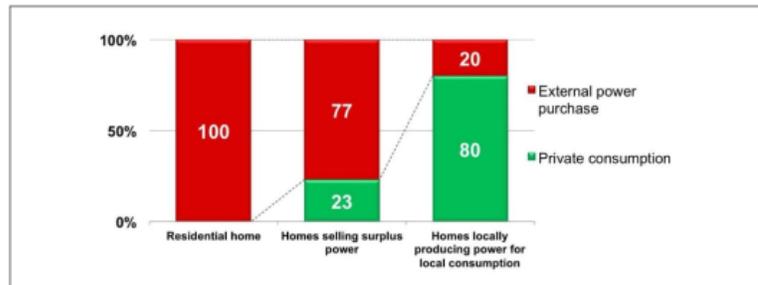


Figura 1.3: Comportamiento de las viviendas respecto a sus necesidades energéticas en la Smart City Shioashiya, [1] [11]

Algo importante a resaltar es que la micro-red cuenta con un sistema de gestión de la energía (EMS) que monitoriza y controla la energía en la red con criterios de transparencia y optimización. Adicionalmente, este EMS se coordina con el EMS de cada vivienda (HEMS) del distrito para que se pueda compartir energía entre los hogares, esto se puede ver en la figura 1.4 donde se muestra el balance de energía en la interfaz de la EMS [1][12]. Cabe mencionar también que el sistema puede actuar como una gran batería de 1,3MWh con cada uno de los almacenadores de energía en las viviendas las cuales pueden actuar de respaldo ante falla de la red principal o los paneles fotovoltaicos.

Además de este funcionamiento armónico de la micro-red, se pretende extender su uso a otras áreas y agentes como agregadores de recursos distribuidos como se ve en el diagrama de la figura 1.5 donde se observa el control virtual centralizado a nivel de vivienda de manera que sea posible integrar a la micro-red sistemas de gestión más amplios.

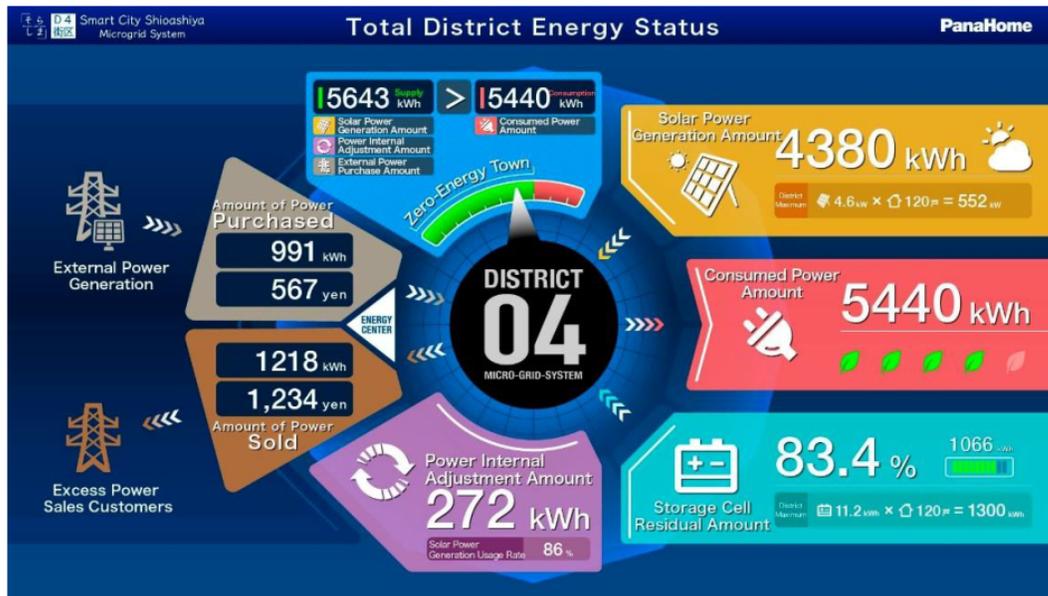


Figura 1.4: Balance de energía total distrito Shioashiya,[1][12]

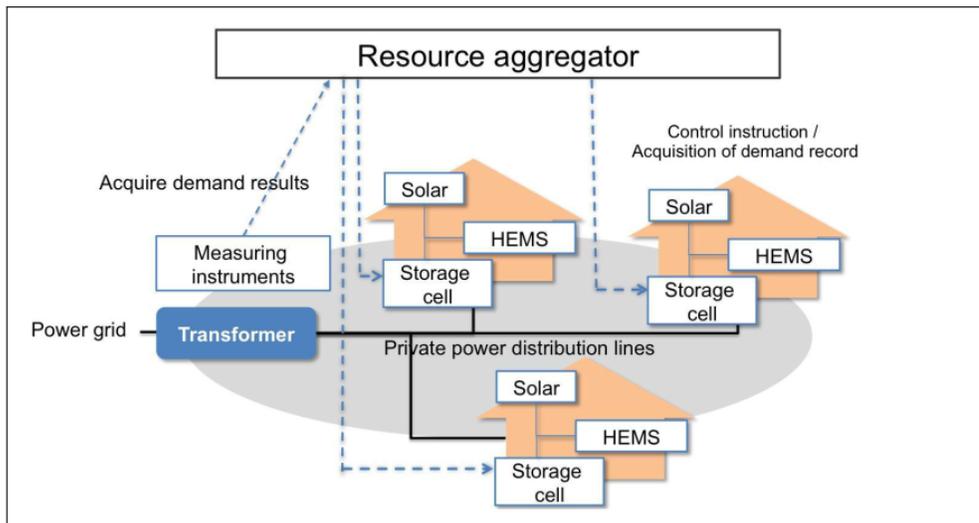


Figura 1.5: Gestión de la energía mediante el sistema de control local y remoto de la micro-red,[1][11]

### 1.2.3. Modelamiento del sistema de control de una Micro-red

El control de las micro-redes es importante ya que se debe optimizar los recursos de la misma, esto dado a que sus principales fuentes de generación (solar y eólica) son variables,

susceptibles a los cambios climáticos, es por esto que se vuelve indispensable el modelamiento del sistema de control para así gestionar de manera eficaz los recursos que obtiene la micro-red. En la figura 1.6 se pueden observar los 3 niveles establecidos para el control de una micro-red [5] [6] donde se observa en un primer nivel el control local de los componentes de la micro-red, generadores distribuidos y cargas. En un segundo nivel se encuentra las funciones de control asociadas a la micro-red y el punto de interconexión a la red local para el funcionamiento en modo isla o conectado a red. En el último nivel, nivel 3, se encuentra la supervisión y control de la micro-red.

<b>NIVEL 3</b>	Funciones de nivel alto – Supervisión /DMS / DSO Interfaz de operación      Comunicación/SCADA Red /Mercado                      Despacho óptimo
<b>NIVEL 2</b>	Funciones de nivel de núcleo – Micro-red /POI Transición                              Despacho Conectado/desconectado      (incluye reglas simples)
<b>NIVEL 1</b>	Funciones de nivel inferior – DER /Carga /nivel de equipos Voltaje/Control de frecuencia      funciones específicas de equipos Control potencia activ./reactiv.

Figura 1.6: Estructura funcional control de micro-red, imagen reconstruida de [5][6]

Teniendo en cuenta la estructura mencionada previamente se plantea el caso de estudio de la figura 1.7 donde se tiene una micro-red con generación eólica de 5 MW, 1 MW de energía solar fotovoltaica, dos sistemas de almacenamiento de 4 y 6 MWh respectivamente, adicionalmente se puso un generador Diesel de 2MW de respaldo. Esta micro-red modelada en ETAP y el paquete de control de micro-redes fue analizada con 4 modelamientos [6]:

- Control de micro-red, importación/exportación de potencia en el punto de acople.
- Control de micro-red, minimización de costos de importe de potencia.
- Control de micro-red, suavizado de la generación de energía renovable.
- Control de micro-red, estrategia de corte carga/generación.

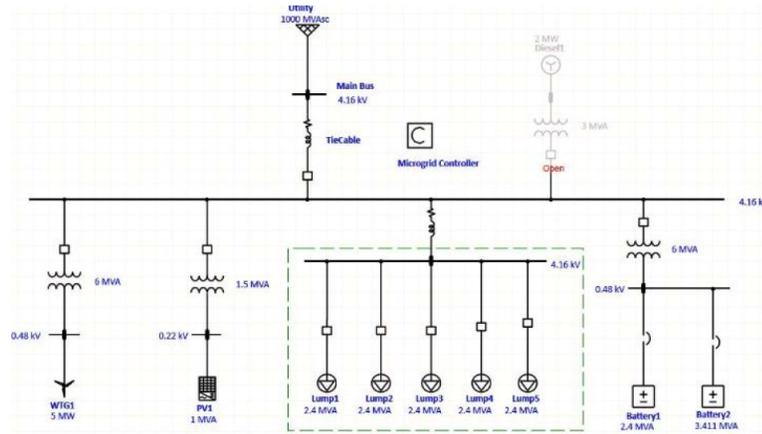


Figura 1.7: Unifilar caso de estudio diseño sistema de control para micro-redes,[6]

Para el primer caso de control de micro-redes el sistema se centra en el SOC de las baterías, así el sistema regula dependiendo de la programación del control en qué momento recibir importaciones de la red para compensar la falta de energía en los almacenadores, al igual cuando hay excedentes de generación renovable las baterías son recargadas, en la figura 1.8 donde se puede ver el comportamiento de la micro-red y transacciones con la red.

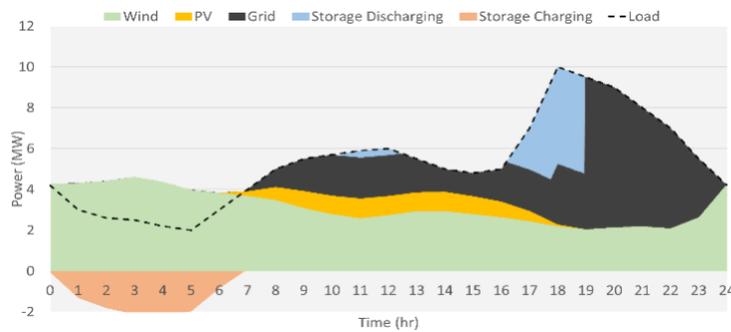


Figura 1.8: Contribuciones energéticas a la micro-red importación/exportación de potencia en el punto de acople ,[6]

Para el segundo caso el sistema de control de la micro-red es configurado para optimizar el despacho de energía de las baterías. Como se ve en la figura 1.9 el sistema se configuró para entregar de forma óptima la energía del sistema de almacenamiento en las horas de mayor demanda, así mismo el sistema pone a cargar las baterías cuando la generación de energía excede los requerimientos de la carga.

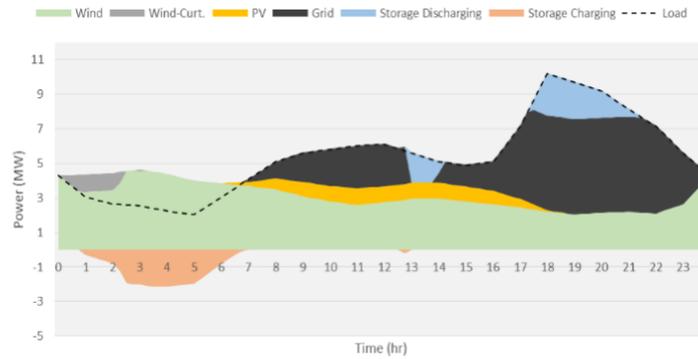


Figura 1.9: Contribuciones energéticas a la micro-red minimización de costos de importe de potencia,[6]

Para el tercer caso de control, suavizado de la generación de energía renovable, el controlador es programado como se ve en la figura 1.10 donde se busca atenuar los impactos de la variabilidad de la generación renovable, así, cuando el sistema detecta fluctuaciones en la generación entra el sistema de baterías a respaldar la micro-red para evitar inestabilidades y fluctuaciones de potencia. En la figura mencionada se observa como las baterías aportan energía y son recargadas cuando no son requeridas.

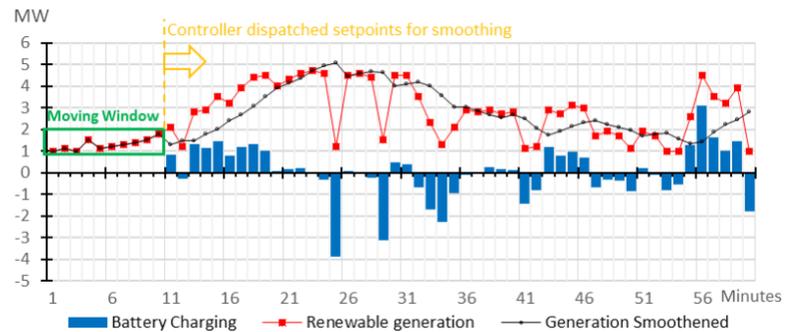


Figura 1.10: Control de la micro-red, suavizado de la generación de energía renovable, [6]

Para el último caso el sistema de control es modelado para trabajar con la estrategia de corte carga/generación. Como se observa en la figura 1.11 el sistema hace recortes de carga cuando los generadores no pueden entregar toda la energía requerida, esto debido a la variabilidad de radiación solar y potencial eólico. Así el sistema se mantiene balanceado para no entrar en inestabilidad.

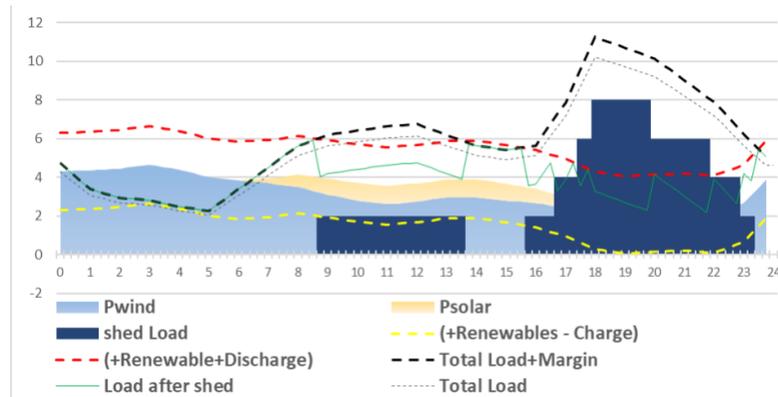


Fig. 8. Immediate load shedding strategy in each 15 minute (Case B)

Figura 1.11: Control de la micro-red, estrategia de corte carga/generación, [6]

#### 1.2.4. Modelamiento en IEC 61850 de micro-red adaptable híbrida AC/DC

La implementación del estándar de comunicaciones IEC 61850 se ha popularizado dadas sus prestaciones en la automatizaciones de subestaciones eléctricas y centrales de generación, estas prestaciones hacen que se desee aplicar el estándar en sistemas como las micro-redes para aprovechar sus virtudes y así optimizar las micro-red aplicando la sección IEC 61850-7-420 la cual crea nodos lógicos de información en el sistema como se puede ver en la figura 1.12 donde se modelan los parámetros de cada uno de los componentes de la micro-red híbrida AC/DC.

Para la aplicación de la sección 7-420 de la IEC 61850 se deben definir los generadores distribuidos DER (distributed energy resources) y sus puntos de conexión eléctrica ECPs (electrical connection points). En adición se deben mapear todos los controladores, convertidores de potencia y sistemas auxiliares. El sistema se define con los siguientes nodos lógicos para trabajar bajo los parámetros de la IEC 61850-7-420 [7]:

- **ECP:** Este nodo lógico define todas las características de la generación distribuida tales como: información de estatus, energía entregada, cronogramas de control y parámetros de despacho económico.
- **Medición:** Este nodo este encargado de la información de medida en AC y DC en los diferentes puntos de interés.
- **Protección:** Los nodos lógicos para protección reúnen la información de breakers AC y switches DC.

- **Medidas físicas:** Las medidas físicas agrupadas en este nodo lógico contemplan: temperaturas, presiones e información meteorológica.
- **Convertidores de potencia:** Para este nodo lógico se reúnen características tales como información común para dispositivos lógicos, funciones sensitivas de conversión y funciones de protección de los convertidores de sobre/subvoltaje y sobrecorriente durante la operación.

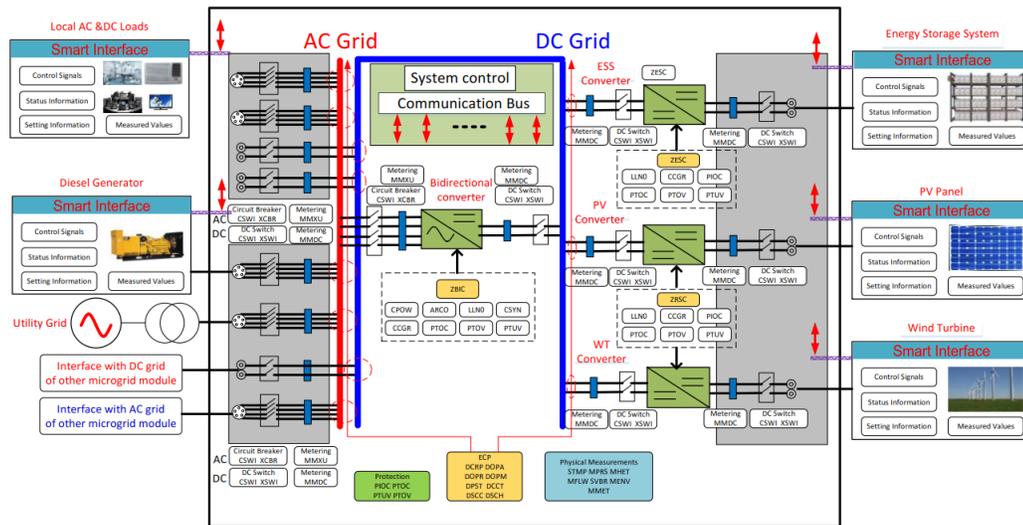


Figura 1.12: Micro-red hibrida AC/DC y su modelamiento lógico según IEC61850-7-420, [7]

## 1.3. Objetivos

A continuación, se presentan los objetivos que se proponen desarrollar para el presente trabajo de grado.

### 1.3.1. Objetivo general

Proponer un modelo de gestión digital de la red de control y protección de una micro-red eléctrica con base en el estándar IEC-61850 que permita obtener una redundancia completa para la supervisión, control y transmisión de datos fiables.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar el modelo óptimo de generación de una micro-red eléctrica con generación renovable (energía eólica y solar fotovoltaica), almacenamiento en baterías e interconectada a la red eléctrica.
- Modelar el comportamiento eléctrico de la micro-red con generación renovable, almacenamiento en baterías, cargas e interconectada a la red eléctrica.
- Diseñar la red de gestión del sistema de protección y control de la micro-red eléctrica con base en el estándar IEC-61850.

## 1.4. Metodología

Las actividades a desarrollar se relacionan con los objetivos específicos planteados en la sección 1.3 los cuales se detallan a continuación:

**Objetivo específico 1:** Elaborar el modelo óptimo de generación de una micro-red eléctrica con generación renovable (energía eólica y solar fotovoltaica), almacenamiento en baterías e interconectada a la red eléctrica.

- Identificar el consumo promedio de las cargas de la micro-red.
- Identificar el recurso energético en el emplazamiento de la micro-red.
- Modelar el sistema de generación en el software especializado HOMER Energy 3.14.2.
- Optimizar la generación eléctrica y el almacenamiento de energía del emplazamiento con el software especializado HOMER Energy 3.14.2.

- Análisis de la generación, almacenamiento e interconexión con la red local de la micro-red.

**Objetivo específico 2:** Modelar el comportamiento eléctrico de la micro-red con generación renovable, almacenamiento en baterías, cargas e interconectada a la red eléctrica.

- Caracterizar la red eléctrica existente.
- Modelar eléctricamente el sistema existente, la generación eléctrica y el almacenamiento de energía en el software especializado ETAP 20.6.0.
- Análisis del comportamiento eléctrico de la micro-red mediante el flujo de carga en diferentes escenarios.

**Objetivo específico 3:** Diseñar la red de gestión del sistema de protección y control de la micro-red eléctrica con base en el estandar IEC 61850 con sus apartados GOOSE (61850-8-1) y SV (61850-9-2).

- Identificar la mejor arquitectura de la red de gestión.
- Modelar la red de gestión en el software especializado CISCO packet tracer 7.3.0.
- Modelar los nodos lógicos y paquetes de comunicación de la red de gestión para el control y protección de la micro-red.
- Análisis de la operación de la red de gestión mediante pruebas de interconexión, comunicación TCP/IP, mensajería SSH.

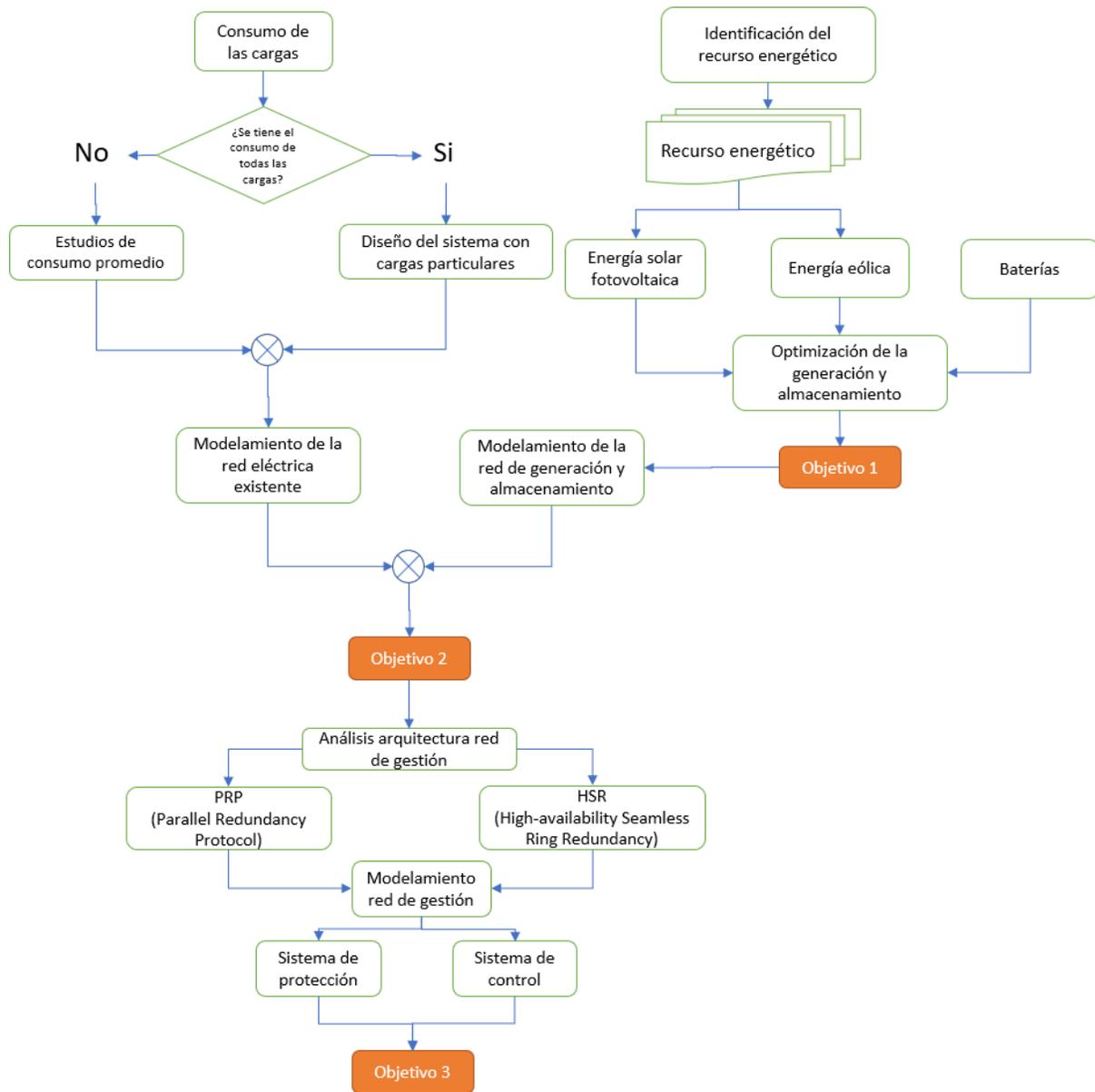


Figura 1.13: Diagrama de flujo metodología a desarrollar

## 1.5. Organización del documento

Con el fin de orientar al lector en el desarrollo del presente documento, se organizaron los siguientes capítulos de tal forma que se aborden en primer lugar los conceptos que involucran el desarrollo de las micro-redes, los elementos que requiere para el sistema de generación, control, protecciones y los requerimientos que le permita posteriormente entender el proceso de análisis de la disponibilidad y confiabilidad del sistema y las pruebas que se proponen para analizar los tiempos de respuesta y el análisis de los resultados que permita llegar a las conclusiones finales.

De esta manera, los siguientes capítulos de este documento están compuestos por:

**Capítulo 2:** Marco teórico asociado a las micro-redes, sus componentes de generación, almacenamiento y consumo incorporando los aspectos técnicos de la norma IEC-61850 y los diferentes componentes necesarios para su correcta implementación. Además de abordar los requerimientos propuestos por la IEEE para los sistemas de control y protecciones eléctricas en una micro-red eléctrica.

**Capítulo 3:** En este capítulo se presenta el modelos del sistema desarrollado para la propuesta de digitalización de una micro-red digitalizada para un caso de estudio, con las arquitecturas de red y demás componentes requeridos.

**Capítulo 4:** En este capítulo se presenta el caso de estudio, su esquema eléctrico actual, características geográficas, dimensiones y consumo.

Con el desarrollo de los capítulo 3 y 4 se lleva a cabo el análisis de el sistema de generación óptimo con el software especializado Homer energy 3.14.2; se modela el sistema eléctrica existente junto con el modelo óptimo de generación renovable en el software de simulación de sistemas de potencia Etap 20.6.0, se realiza el ajuste del esquema de protección eléctrica. Adicionalmente, se modela en el software de simulación de sistemas de comunicaciones CISCO Packet Tracer 7.3.0 cada uno de los dispositivos que hacen parte de la micro-red digital propuesta y se analiza estimaciones de tiempo total para el despeje de falla del sistema de protecciones, asociado a los mensajes tipo sampled measured values y GOOSE.

**Capítulo 5:** Análisis de resultados. En este capítulo se exponen los resultados obtenidos, con su respectivo análisis de control y protección con operación digital por medio del estandar IEC-61850 y el desempeño de las protecciones eléctricas con base en los tiempos de respuesta para el despeje de falla de la micro-red eléctrica en el caso de estudio.

**Capítulo 6:** Se presentan las conclusiones obtenidas, a partir del análisis del modelo trabajado en la micro-red, además de mencionar algunas consideraciones a tener en cuenta en el desarrollo de este tipo de soluciones y posibles trabajos futuros que se derivan de este desarrollo.



---

## Capítulo 2

# Marco teórico

---

### 2.1. Generación eólica

La generación eólica se produce gracias al poder del sol el cual calienta el planeta de forma irregular haciendo que las zonas donde no se calienta tanto la presión aumente, mientras que en las partes donde se libera más calor el aire caliente sube a la atmósfera y la presión disminuye. A partir de esto se crea una macro circulación de aire, como lo ilustra la figura 2.1, ya que el aire caliente sube a la atmosfera y el aire frio baja a la tierra [14]



Figura 2.1: Macro-circulación del aire por influencia del sol, [14]

Gracias a estos movimientos de aire los generadores eólicos pueden generar electricidad, sin embargo, esta generación no es constante en todas las partes del planeta, ni a todas las alturas, esto debido a varios obstáculos como árboles y edificios aledaños los cuales crean perturbaciones en el flujo de aire como se ve en la figura 2.2.

Adicionalmente los generadores no pueden transformar totalmente el poder del aire ya que

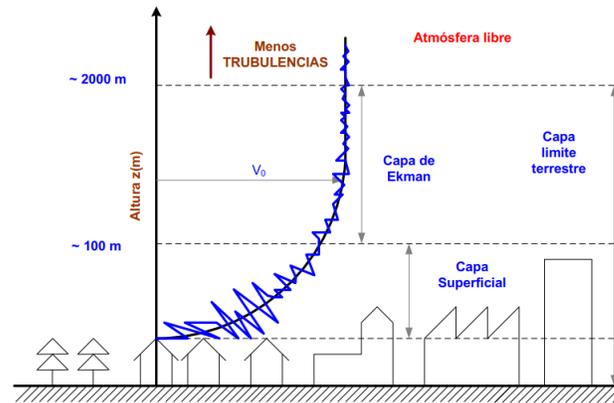
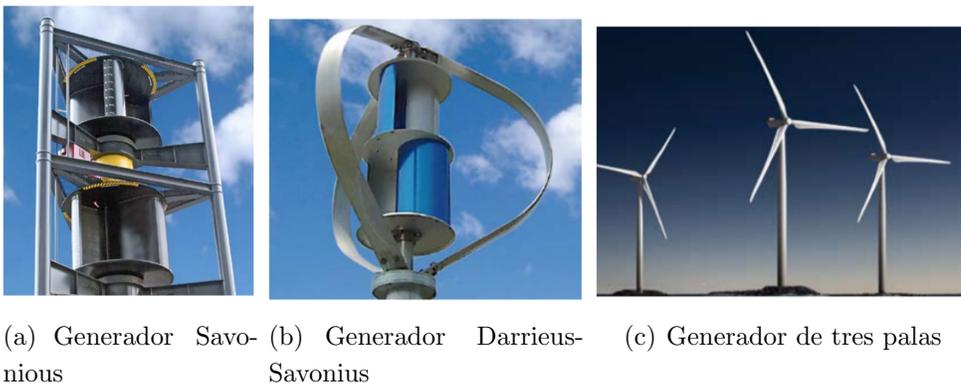


Figura 2.2: Variación del viento con la altura, [15]

si lo hiciera el aire perdería toda su velocidad, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. Esto fue descubierto por el físico alemán Albert Betz quien descubrió que el máximo aprovechamiento del poder del aire es del 59 % aproximadamente, a esto se le llamó el límite de Betz ( $C_p$ ). Una vez se tiene caracterizado el emplazamiento en el que se quieren ubicar estos generadores y la cantidad de viento que existe allí se debe seleccionar el tipo de aerogenerador que se desea usar. Como el propósito de este proyecto de grado son las micro-redes, las cuales son de baja potencia, el estudio de la generación eólica se acotará a equipos de potencia reducida los cuales son menores a 1 MW [15] y ubicados a menos de 50 metros de altura. Estos equipos comercialmente son de dos tipos: de eje vertical tipo *Savonius* o *Darrieus-Savonius* y de eje horizontal normalmente de tres palas como se ve en la figura 2.3.



(a) Generador Savonius

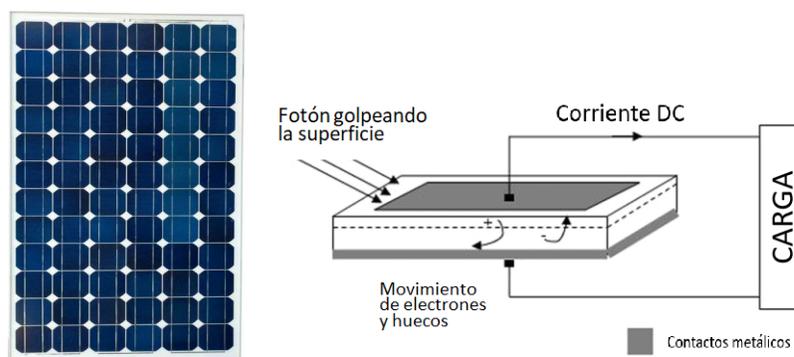
(b) Generador Darrieus-Savonius

(c) Generador de tres palas

Figura 2.3: Generadores comerciales, [14]

## 2.2. Generación solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una de las más populares y ampliamente usada en el mundo para la producción eléctrica dada su facilidad de instalación, tamaño reducido y manejo sencillo de equipos del sistema de generación (paneles, inversores, cables, etc.). La generación eléctrica fotovoltaica se realiza gracias a los rayos de sol que inciden en la placa semiconductor del panel generando desplazamiento de electrones los cuales son direccionados por conductores de cobre en el interior del panel para así generar corriente continua como se muestra en la siguiente ilustración:



(a) Células fotovoltaicas en un panel solar,[16]

(b) Esquema de generación fotovoltaica, [17]

Figura 2.4: Panel solar,[16], [17]

Esta clase de generación consta del sol como fuente primaria, unas células fotovoltaicas como se ve en la figura 2.4 las cuales constituyen el panel solar y un sistema de potencia el cual puede ser con:

- Convertidor DC-DC.
- Inversor o convertidor DC-AC.
- Reguladores de carga de baterías.

La generación fotovoltaica es bastante apetecida ya que su eficiencia no se rige por su tamaño, se puede instalar en cualquier emplazamiento con luz solar directa, su huella contaminante es mínima y no tiene contaminación auditiva ya que no posee partes móviles [16]. Su configuración es sencilla con posibilidad de ser ampliada fácilmente, una configuración habitual

es como la que se ve en la figura 2.5 donde se tiene un sistema típico fotovoltaico

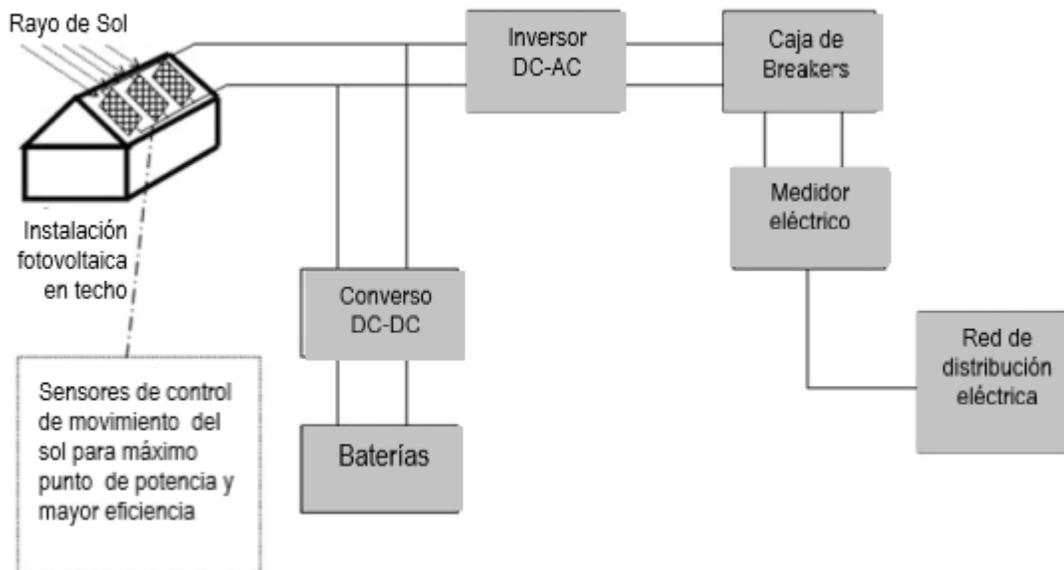


Figura 2.5: Sistema típico de generación fotovoltaica,[17]

### 2.3. Sistema de almacenamiento

Con la popularización de los sistemas de generación renovable se han evidenciado ciertos inconvenientes [16]:

- Generación imprevisible.
- La disponibilidad temporal de los recursos renovables no suele coincidir con las necesidades energéticas.

Dados estos problemas se ve la necesidad de un sistema de almacenamiento para así poder guardar los excedentes de energía cuando se tiene mucho recurso energético y poca carga; así cuando el recurso energético disponible baje, el sistema de almacenamiento puede respaldar la demanda. Algunas de las formas de acumulación de energía más conocidas son [16]:

- Energía química:
  - Baterías.
  - Supercondensadores.

- Energía hidráulica: saltos de agua artificiales.
- Energía térmica: tanques de sales fundentes a altas temperaturas.
- Energía mecánica:
  - Volantes de inercia.
  - Aire comprimido.
- Otros: superconductores, etc.

De los elementos mencionadas anteriormente, las baterías son las más usadas dado su capacidad de almacenamiento y economía, sin embargo, cada forma de acumular energía es buena para determinadas circunstancias por ejemplo, si se requiere respuesta rápida ante la ausencia o fallo de energía; otros por ejemplo, ofrecen respaldo de larga duración. En la figura 2.6 se pueden observar los rangos de operación dependiendo los tiempos de trabajo y la capacidad de acumulación.

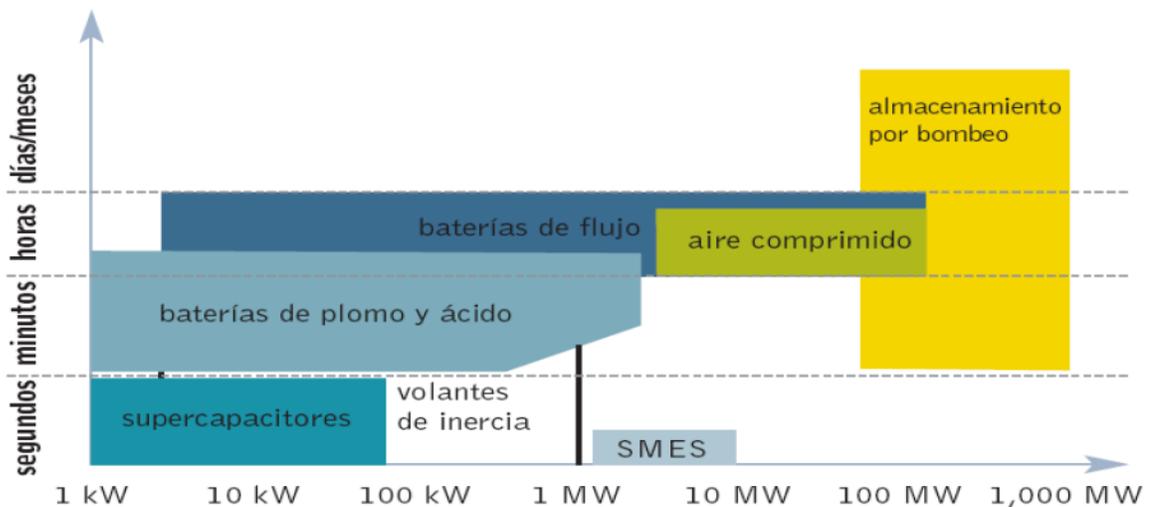


Figura 2.6: Sistema de almacenamiento de energía,[16]

De la figura 2.6 y teniendo en cuenta su uso extendido en subestaciones, centrales de generación eléctrica y sobre todo en los sistemas fotovoltaicos, las baterías son la forma de almacenamiento en la que el presente trabajo de grado ahondará en su uso y estudio.

### 2.3.1. Baterías

Las baterías basan su funcionamiento en una reacción química de oxidación/reducción que se produce entre los terminales positivos y negativos, de esta forma se convierte la energía química en energía eléctrica. Algunas de las razones por las cuales se requieren almacenadores como las baterías son[16]:

- Mantener el suministro eléctrico ante fallos en el sistema.
- Falta de energía primaria (luz solar o viento).
- Proporcionar respaldo de energía ante la necesidad de grandes picos de energía instantáneo de cargas especiales como los motores.
- Mantener una tensión continua estable para cargas críticas.

Existen distintos tipos de baterías los cuales dependen de su uso, por ejemplo [16]:

#### **Baterías para aplicaciones estacionarias**

Estas permiten descargas prolongadas sin causar daño interno en ellas, son altamente usadas en el sistema eléctrico de alta potencia actual como en:

- Sistemas fotovoltaicos no interconectados a la red.
- Sistemas de "back-up".
- Convertidores electrónicos para el mejoramiento de red:
  - STATCOMS
  - FACTS
- Vehículos eléctricos.
- Sistemas de alimentación ininterrumpida:
  - SAIs.
  - UPS.

#### **Baterías para arranque de motores**

Estas están diseñadas para entregar grandes cantidades de corriente de descarga en el arranque de motores de combustión.

#### **Baterías de alimentación ininterrumpida**

Las baterías son parte fundamental de los sistemas eléctricos, son siempre requeridas para darle soporte al sistema principal y así volverlo confiable, es por esto que al momento de diseñar el sistema de almacenamiento se debe tener en cuenta[16]:

- Días de autonomía de la instalación.
- Tipo de batería a usar.
- Tensión de trabajo.
- Capacidad nominal de las baterías.
- Perdida energética en la carga/descarga.
- Autodescarga de la batería.
- Profundidad de descarga admisible y descarga máxima permitida.

Como se mencionó anteriormente es importante saber los días de autonomía del sistema y así poder elegir bien el tipo de baterías que se usarán. Estas decisiones dependen del sistema eléctrico que se tiene, un ejemplo o estimación rápida que se puede hacer para la selección de baterías y el tiempo de autonomía dependiendo del sistema eléctrico, se puede ver en la tabla **2.1** donde se puede observar una estimación del tiempo que debería respaldar el sistema de almacenamiento al sistema eléctrico que se tiene y así poder escoger el tipo de baterías que mejor se adaptan a estos requerimientos.

De la tabla **2.1** podemos ver que para el tema que compete al presente proyecto de grado se estima que el sistema de almacenamiento debería contemplar una autonomía de cuatro (4) días y un tipo de baterías OPzV las cuales son del tipo estacionario y fueron mencionadas anteriormente.

Otro de los temas importantes para tener en cuenta es la tensión de operación. El estándar comercial de las baterías es de 2 voltios por cada unidad y estas se arreglan en serie y paralelo para así llegar a la tensión deseada para el sistema eléctrico que se tiene, por ejemplo si el sistema requiere un arreglo de baterías de 24 voltios se necesitara de 12 baterías conectadas en serie para suplir esta necesidad. Ahora bien, la tensión del arreglo de baterías varía entre las diferentes potencias de los sistemas eléctricos, sin embargo, se pueden tomar como referencia las recomendaciones para sistemas fotovoltaicos puesto que hacen parte de la generación eléctrica de la micro-red del presente trabajo de grado [16]:

- $P_{FV} < 1kW = 12V$
- $1kW < P_{FV} < 5kW = 24V - 48V$

**Tabla 2.1:** Baterías requeridas en los sistemas eléctricos dependiendo de su autonomía,[16]

	Tiempo de autonomía (días)	Tipo de Batería
Sistema de apoyo (Europa)	0,5	OGi
Sistema de apoyo (red pobre)	1	OGi cyclically fixed
Sistema eólico o fotovoltaico de baterías	4	OPzV
Sistema con diesel	2	OPzV
Sistema con turbina hidráulica	1,5	OPzV

- $P_{FV} > 5kW = 48V - 120V$

Los valores de tensión mencionados previamente concuerdan con los que se usan actualmente en sistemas de alta potencia como lo son subestaciones y centrales de generación eléctrica las cuales son regidas por el estándar IEC 62271-1 de 2007 como se ven en la tabla **2.2** y pueden ser analizadas en conjunto con los valores dados previamente para sistemas fotovoltaicos y así determinar el nivel de tensión que se empleará en el sistema de almacenamiento para una micro-red.

**Tabla 2.2:** Niveles de tensión en corriente continua estandarizadas,[19]

U (V)
24
48
60
110 o 125
220 o 250

## 2.4. Protocolo de comunicaciones IEC 61850

El protocolo de comunicaciones IEC 61850 es una estandarización creado por la Comisión Internacional Electrotécnica el cual es ampliamente usado para la automatización de subestaciones. Dado sus grandes prestaciones está siendo ampliamente utilizado en diferentes sectores eléctricos.

La IEC-61850 está equipada con [2]:

- Características de jerarquización de la de información.
- Modelos de información independiente y protocolo de comunicación.
- Autodescripción de datos.
- Modelamiento orientado de objetos.

Normalmente para la automatización de las subestaciones eléctricas se utiliza la IEC-61850 con las características previamente mencionadas en un sistema de tres capas jerárquicas como se puede observar en la figura **2.7** donde se observa que en la primera capa, nivel 0, se encuentran los equipos de potencia (Nivel de proceso), en la siguiente capa, nivel 1, se encuentran los equipos inteligentes o IEDs donde se reciben y envían todas las señales de y hacia los equipos de maniobra (Nivel de bahía) y en la última capa, nivel 3, se encuentran las estaciones de bahía donde se puede ver y controlar cada uno de los componentes de la subestación (Nivel de estación).

Con esta jerarquización la IEC-61850 introduce un sistema de mapeo y digitalización de todas las señales de la subestación para después utilizarlas en el protocolo *Cliente/Servidor* el cual facilita el tratamiento de los datos y señales de la subestación al igual que los comandos que desea realizar el operario. Este protocolo básicamente realiza la conversión de los datos y señales de los equipos de patio al lenguaje de la IEC-61850 como se puede ver en el diagrama de flujo de la figura **2.8** [2] para después mostrarlos al operario y que este tome las decisiones correspondientes, de igual forma como se ve en la figura **2.8**, una vez el operario desea realizar alguna operación este la realiza en el unidad de estación, el sistema toma esa señal la traduce al lenguaje IEC-61850 y este la envía a los equipos de patio traduciéndola al protocolo base de estos [2].

El protocolo de comunicaciones IEC-61850 puede ser aplicado también a las micro-redes donde se buscaría mapear y digitalizar todas las señales de los sistemas como lo son: el sistema fotovoltaico, los generadores eólicos, los grupos Diesel, los sistemas de almacenamiento, la interconexión a la red eléctrica y las cargas. En esta clase de aplicación de la IEC-61850 se

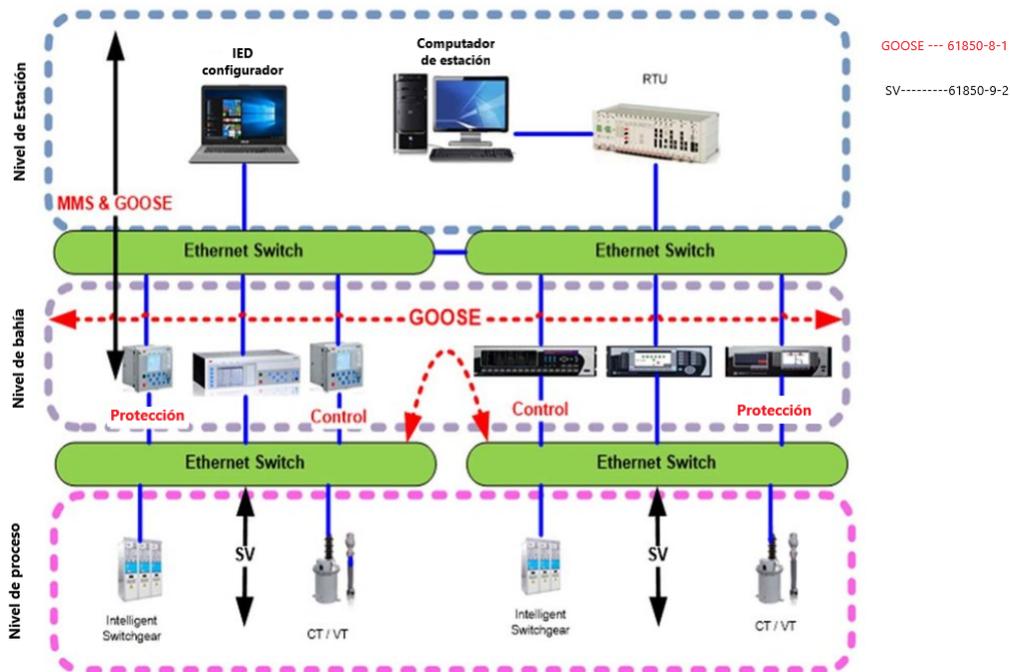
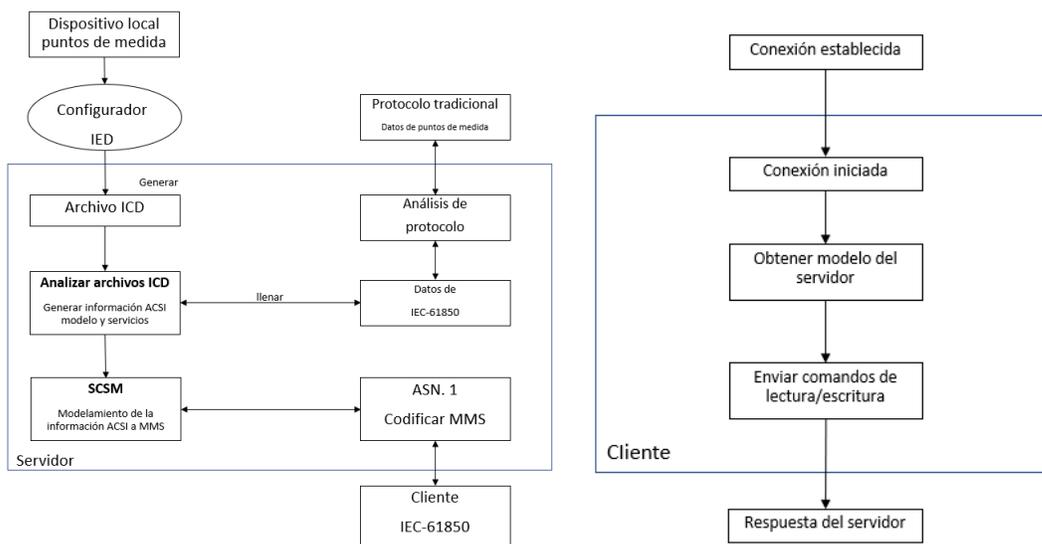


Figura 2.7: Jerarquización de en una subestación en comunicaciones,[18]



(a) Diagrama de flujo protocolo *Server*

(b) Diagrama de flujo protocolo *Client*

Figura 2.8: Protocolo *Cliente/Servidor* para el estándar IEC-61850, [2]

utilizaría el mismo esquema de jerarquización mediante tres niveles como se observa en la figura 2.9 donde se tendrían en un primer nivel todos los sistemas de generación y almacenamiento con sus protocolos de comunicación de fábrica. En un segundo nivel se tendría el sistema de conversión a IEC-61850 mediante servidores y switches de comunicaciones y, en el último nivel, se tendría el sistema central de control donde se reciben y analizan todas las señales de la generación distribuida y desde donde se tomarían las medidas pertinentes para la óptima operación de la micro-red [2] [5].

Ahora bien, para aplicar el protocolo *Cliente/Servidor* se deben tener las siguientes señales

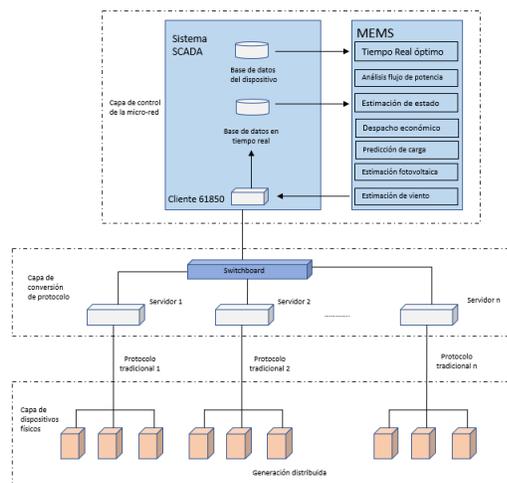


Figura 2.9: Arquitectura de una micro-red,[2]

de la micro-red [2]

- Telemetría (entradas análogas).
- Telecontrol (estatus de los puntos controlables del sistema).
- Tele señales (estatus de cada punto supervisable del sistema).

Una vez todas las señales mencionadas estén claramente definidas en cada uno de los componentes de la micro-red estas pueden ser mapeadas y digitalizadas como se observa en la figura 2.10 para así poder supervisar, controlar y proteger cada uno de los componentes del sistema desde el control centralizado [2] [5].

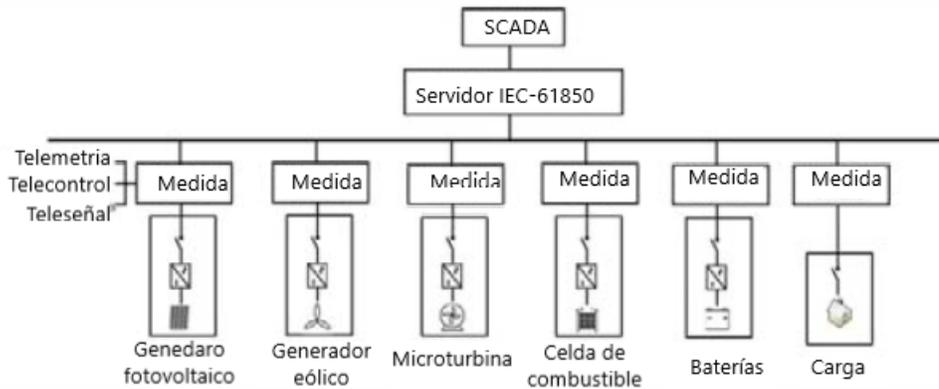


Figura 2.10: Modelamiento de la micro-red,[2]

### 2.4.1. Protocolo 61850-8-1 GOOSE

El protocolo *GOOSE* es un apartado del estándar de comunicación IEC-61850 el cual permite el intercambio de información de forma rápida y confiable. Su modelo de comunicación es *publicador-suscriptor*, esta forma de comunicación es llamada horizontal ya que los dispositivos de mismo nivel pueden enviarse información. Las ventajas de usar este protocolo son [20]:

- Reducción de cableado.
- Menos tiempo de integración.
- Mayor flexibilidad para configurar.
- Se puede monitorear.

Para la publicación de la información el *GOOSE* requiere de un *Data set* el cual recibe y agrupa toda la información y al publicar lo envía a todos los dispositivos conectados a la red, al ser un sistema multicast, como se ve en la figura 2.11, donde se observa como el sistema *publicador* recibe toda la información, la agrupa y la publica a todos los equipos en la red.

Una de las ventajas del protocolo *GOOSE* y por la cual lo hacen un sistema de comunicación rápido, como se observa en la figura 2.13, es que este solo hace uso de la séptima capa del modelo OSI (Open Systems Interconnection) por lo cual el sistema solo requiere procesar la dirección MAC y las señales, así pues, la *IEC-61850 GOOSE* requiere un tiempo de aproximadamente 4 ms para su mensajería [20]. Otra de las ventajas de la mensajería con *GOOSE* son los mensajes con prioridad los cuales pueden evitar el tráfico de la red no prioritaria y así los equipos reciben los mensajes sin retraso de tiempo como se ve en la figura

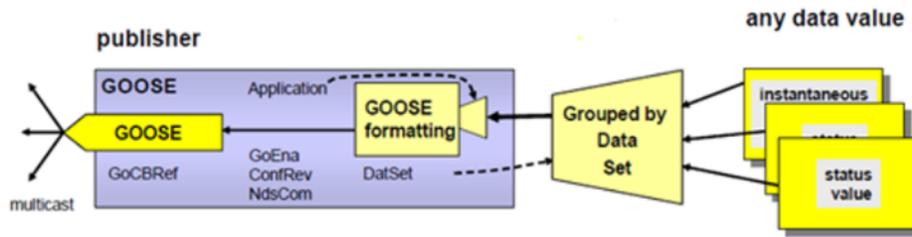


Figura 2.11: Diagrama de flujo recolección y publicación de datos en *GOOSE*,[20]

2.12. En la figura 2.14 se puede observar como se debe configurar la mensajería GOOSE en los dispositivos para así darle prioridad a los mensajes de control y protección, es importante para esto definir las direcciones MAC del suscriptor, así como la aplicación de la mensajería GOOSE (control, protección o alarma), adicionalmente se debe asignar la VLAN aplicable al paquete de información, si la arquitectura de la red de gestión del sistema está desarrollada con VLANs para mejorar el orden de los paquetes de información en la red, por último, la designación de prioridad es vital para la configuración de GOOSE, en este apartado se deben definir que datos entre la información de estados de equipos, disparos por protección y alarmas del sistema tienen mayor o menor prioridad para así hacer el salto o sobrepaso como se indica en la figura 2.12.

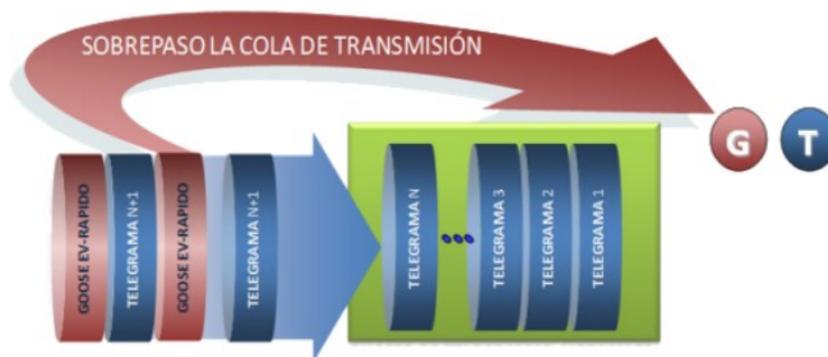


Figura 2.12: Diagrama de flujo mensajería con prioridad en *GOOSE*,[20]

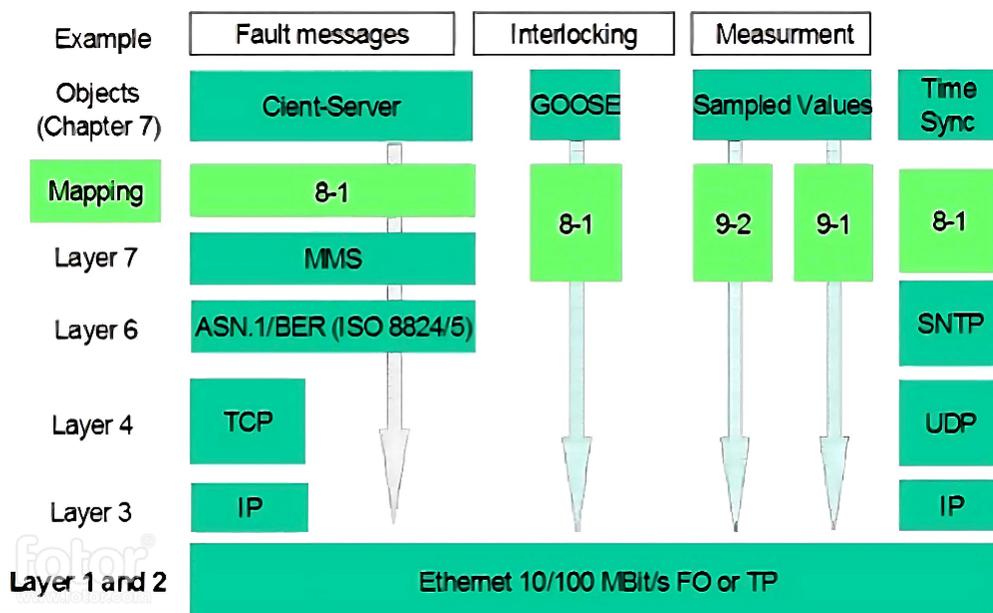


Figura 2.13: Modelo de capas OSI,[20]

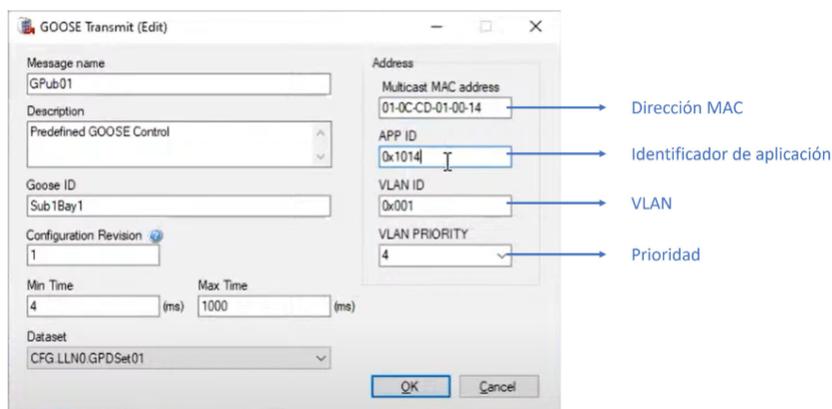


Figura 2.14: Habilitación de mensajería GOOSE típica en relés de protección y Merging Units, [20]

### 2.4.2. Protocolo IEC-61850-9-2 Sampled Values

El apartado 9-2 de sampled values (SV) del estándar de comunicaciones IEC-61850 al igual que el 8-1 de *GOOSE* permite el intercambio de información de forma rápida y confiable ya que también transfiere los datos directamente desde la séptima capa como se observa en la figura 2.13. El protocolo de SVs permite digitalizar todas las señales de los equipos de potencia en la Merging Unit (MU) como se ve en la figura 2.15 posteriormente la MU envía a través de fibra óptica (FO) estos datos a la unidad de protección remota, la cual lee estos datos y utiliza para proteger la bahía o también para compartir con las demás unidades en el sistema de control, cabe resaltar que al igual que el protocolo *GOOSE*. De esta forma se puede al igual que en *GOOSE* reducir el cableado, tiempos de integración y tener mayor flexibilidad.

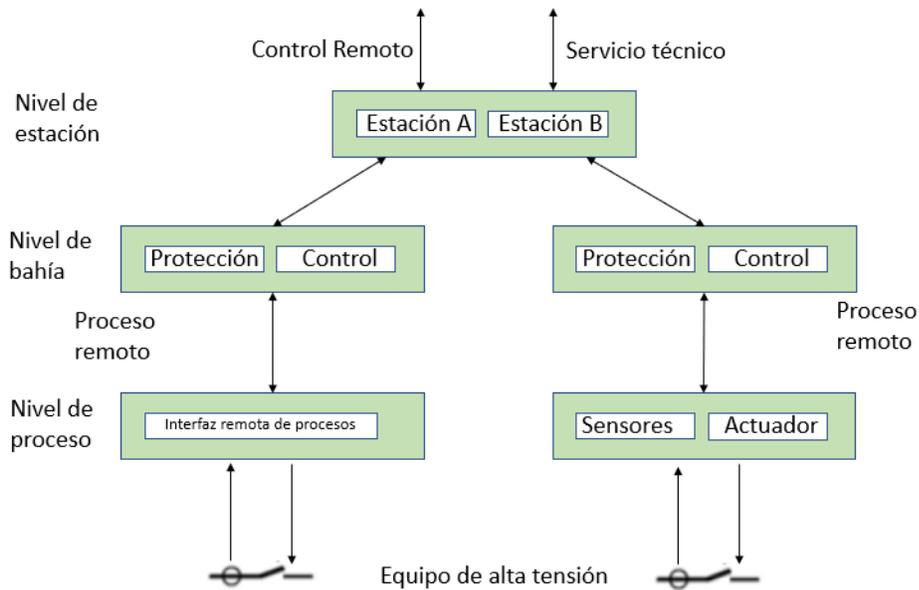


Figura 2.15: Esquema de comunicaciones con *IEC-61850-9-2*,[21]

De una forma gráfica, en la figura 2.16 el sistema tradicional que se ve en (a) donde todas las señales se cablean a la IED mediante cobre pasa a lo que se ve en (b) donde las señales son llevadas a la MU en la cual son digitalizadas y enviadas por FO hasta la protección ahorrando así todo el cable requerido en la configuración (a). Teniendo en cuenta la configuración (b) de la figura 2.16 se han realizado simulaciones de: fallas, magnitudes y ángulos de fase y posteriormente verificadas en las IEDs con configuración normal y los resultados arrojaron desviaciones del 0,12% [21]. Lo anterior demuestra que se pueden tener los mismos resultados con el protocolo *IEC-61850-9-2* que la configuración tradicional basada en tendidos de cobre pesado.

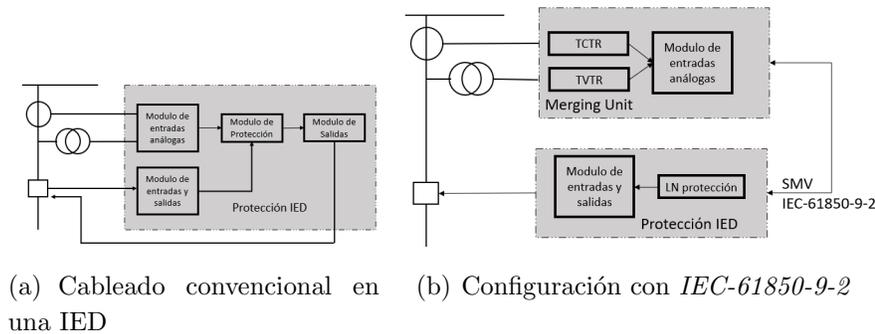


Figura 2.16: Comparación de configuración tradicional y con SV, [21]

## 2.5. Arquitecturas de comunicación

Dada la era de la digitalización y los desarrollos realizados en generación, transmisión y procesamiento de datos en los sistemas eléctricos, donde la información de estado y proceso que realizan los componentes es vital, se crea la necesidad de tener una red fiable para el trabajo óptimo y confiable.

A travez de los años se han creado distintas redes o arquitecturas de comunicaciones para poder recibir, analizar, manejar y enviar datos vitales de los componentes de los sistemas eléctricos, por ejemplo subestaciones de transmisión y centrales de generación eléctrica. Las arquitecturas más utilizadas en los sistemas mencionados son PRP (Parallel Redundancy Protocol), HSR (High-availability Seamless Ring Redundancy) y RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol). Estas configuraciones y derivaciones o mezcla de ellas son utilizadas dependiendo de:

- La importancia de la información.
- El requerimiento de disponibilidad del sistema.
- El presupuesto para su aplicación.

Una vez se analizan estos Items de selección de arquitectura se deben también tener en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de las configuraciones.

### 2.5.1. Ventajas y desventajas configuración RSTP

Las ventajas y desventajas de un sistema configurado en RSTP son [26]:

#### Ventajas

- RSTP utiliza una red simple para la conexión de nodos.
- Tolera la falla de cualquier componente simple de red (con un tiempo relativamente corto de indisponibilidad de la red)
- No depende de protocolos de capa superior.
- Esta altamente difundido en el mercado, existen varios fabricantes que utilizan este protocolo en sus equipos de red.
- Es un protocolo probado en subestaciones a nivel mundial.
- Implementación económica.

#### Desventajas

- Ante fallas en la red la reconfiguración puede tomar varios segundos; en casos extremos.
- No cumple con los niveles de disponibilidad requeridos en las subestaciones, durante la reconfiguración por falla o inicio de equipos.
- Tiene un número máximo de equipos que pueden formar parte de la red.

### 2.5.2. Ventajas y desventajas configuración PRP

Las ventajas y desventajas de un sistema configurado en PRP son [26]:

#### Ventajas

- PRP permite la conmutación sin interrupciones (tiempos cero) y sin pérdida de tramas; lo cual lo hace adecuado para la mayoría de sistemas de tiempo crítico.
- Puede usarse en variedad de topologías de red: anillo, estrella, etc.
- Cumple con todos los requisitos de automatización de subestaciones de acuerdo a la norma IEC 61850.
- Tolera fallas de cualquier componente simple de red.
- No depende de protocolos de capa superior.

- Es compatible con RSTP.
- Permite el uso de nodos (SAN) que no están equipados para redundancia, que pueden operar en la misma red.
- Puede usarse fuera de la plataforma de componentes de red: herramientas, controladores, switches y enlaces.
- Soporta precisión para la sincronización de tiempo de acuerdo con la IEEE 1588.
- Es un protocolo probado para subestaciones de alta tensión.
- Es transparente para la aplicación.
- PRP reduce la tasa de pérdidas durante su operación normal.
- Usa métodos de chequeo periódico de nodos, que le permite identificar los nodos que participan y no en el protocolo.

### Desventajas

- Duplicación de costos en la red
- Los nodos simples (SAN) de una red LAN no pueden comunicarse directamente con nodos SAN de otra LAN.
- El tamaño de trama debe ser limitado para prevenir que se conviertan en tramas más largas que las máximas establecidas en IEEE 802.3

### 2.5.3. Ventajas y desventajas configuración HSR

Las ventajas y desventajas de un sistema configurado en HSR son [26]:

#### Ventajas

- HSR usa una red simple para la conexión de nodos.
- HSR es un protocolo transparente adecuado para aplicaciones críticas, costos eficientes.
- HSR permite la conmutación sin interrupciones con tiempos de conmutación cero y sin pérdida de tramas; lo cual lo hace adecuado para la mayoría de sistemas de tiempo crítico.
- Cumple con todos los requisitos de automatización de subestaciones de acuerdo a la norma IEC 61850.

- Tolera la falla de cualquier componente simple de red.
- No depende de protocolos de capa superior.
- Es compatible con RSTP y PRP
- Permite el uso de nodos (SAN) que no están equipados para redundancia, que pueden operar en la misma red.
- Soporta precisión para la sincronización de tiempo de acuerdo con la IEEE 1588.
- Es un protocolo probado para subestaciones de alta tensión.
- HSR chequea la presencia de nodos usando supervisión periódica de tramas que también identifican los nodos que participan y no en el protocolo

### Desventajas

- Solo soporta topología de red en anillo, y anillos de anillos.
- Dispositivos doblemente conectados requieren un desarrollo inicial con costo (hardware)
- Para la conexión de nodos simples, SAN, se debe usar un dispositivo de conexión adicional: “RedBoxes”

## 2.6. Micro-red

Una micro-red es definida como un grupo de generadores distribuidos (DGs, cargas y sistemas de almacenamiento) los cuales pueden operar conectados o no a la red[5].

Las micro-redes han sido cada vez más populares y centro de muchos estudios ya que desde que se empezaron a aplicar se han visto muchos beneficios en comparación con los sistemas de distribución convencional como lo son [6]:

- Flexibilidades en el sistema de control.
- Eficiencia en la operación económica.
- Eficiencia energética.

Adicionalmente los sistemas de almacenamiento en las micro-redes son una gran ventaja ya que permiten el trabajo en modo isla (island mode), maximiza y facilita la entrada de energías renovables permitiendo el control de importación y exportación de potencia en el punto de interconexión a red [5].

Las micro-redes tienen diferentes formas de configuración, estas pueden tener conexión o no a una red de distribución eléctrica, es decir, siempre trabajar en modo isla. Pueden estar constituidas solo por generación renovable o incluir generadores Diesel, así como también pequeñas PCHs (Pequeñas Centrales Hidroeléctricas) y pueden tener un sistema de almacenamiento o no, es por esto por lo que las micro-redes son cada vez más apetecidas dada su versatilidad dependiendo su localización y propósito.

Sin importar la configuración de las micro-redes, todas precisan de un sistema de control que sea capaz de maximizar el rendimiento y operación de la micro-red integrando los diferentes generadores distribuidos, sistemas de almacenamiento, controlando las cargas y la interacción con la red eléctrica. Ahora bien, teniendo en cuenta lo anterior para que un sistema sea considerado una micro-red debe tener las siguientes características según la IEEE [5]:

- Límites eléctricos claramente definidos.
- Un sistema de control capaz de controlar y despachar los recursos como una única entidad controlable.
- Capacidad de generación instalada que exceda la carga crítica, esto permite a la micro-red trabajar en modo isla y poder atender su carga local.

En este punto es importante abordar el control de la micro-red ya que la define como un sistema capaz de dirigirse a sí misma, operar autónomamente o conectada a la red eléctrica, conectar o desconectar uno o varios generadores. Adicionalmente es importante que el sistema de control tenga supervisión en tiempo real y funciones de gestión de energía para los siguientes casos [5]:

- Operación conectado a red o modo isla.
- Transición automática de conexión a red a modo isla controlando la transición para las cargas de la micro-red durante subidas de potencia anormales e interrupciones planeadas del sistema.
- Resincronización y reconexión de modo isla a modo conexión a red.
- Control de la energía para optimizar potencia activa y reactiva generada y consumida.

Es importante tener en cuenta las transiciones previamente mencionadas ya que cualquier error en estas pueden causar afectaciones en la micro-red o peor aún a la red eléctrica local a la que se conecta. La IEEE considera las siguientes como transiciones que se pueden tener de modo isla a conectado a red o viceversa [5]:

- Modo isla no planeado (T1).

- Modo isla planeado (T2).
- Reconectar (T3).
- Black Start (T4).

Cada una de las transiciones previamente mencionadas deben estar caracterizadas por los siguientes pasos [5]:

- **Modo isla no planeado**

- Detección de condiciones de modo isla.
- Crear el modo isla.
- Configurar las protecciones y el control local apropiadamente.
- Ejecutar acciones planeadas para el caso del modo isla como por ejemplo el deslastre de carga o la transición Black start sí es necesario.
- Señal estado de modo isla.

- **Modo isla planeado**

- Se recibe el comando modo isla.
- Balancear carga y generación (ajustar P y Q en el punto de interconexión a la red).
- Configurar las protecciones y el control local apropiadamente.
- Crear el modo isla.
- Señal estado de modo isla.

- **Reconexión a la red**

- Re sincronizar, ajustar y emparejar voltaje, ángulo de fase y frecuencia incluyendo límites preestablecidos para la micro-red.
- Configurar las protecciones y el control local apropiadamente.
- Reconectar.
- Señal estado reconectado y reconectar cargas deslastradas.

Teniendo en cuenta estas transiciones y adicionalmente los estados de conexión a red (SS1) y modo isla (SS2) se puede realizar la lógica de transiciones que se ven en la figura **2.17** con la cual se puede observar fácilmente la operación que debe tener la micro-red, adicionalmente para la correcta operación del sistema en cada uno de los estados previamente mencionados el control debe tener las siguientes características [5]:

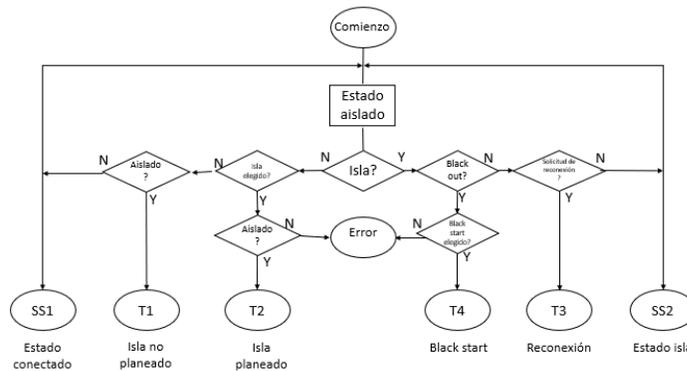


Figura 2.17: Secuencias asociadas a las funciones de transición,[5]

### ■ Modo conectado a red

- Control y comando de los generadores individuales o de forma coordinada.
- Control de la carga, carga deslastrable.
- Control de despacho.
- Operación de los breakers, switches y otros equipos operables.
- Regulación de tensión usando métodos apropiados incluyendo: capacitores, cambiadores de tap de los transformadores, y la potencia reactiva producida por los inversores.
- Implementación de intercambio de potencia(P,Q) en el punto de conexión a red.

### ■ Modo isla

- Control y comando de los generadores individuales o de forma coordinada.
- Control de la carga, carga deslastrable.
- Control de despacho.
- Operación de los breakers, switches y otros equipos operables.
- Regulación de tensión usando métodos apropiados incluyendo: capacitores, cambiadores de tap de los transformadores, y la potencia reactiva producida por los inversores.
- Control de la frecuencia usando como referencia un generador de la micro-red o sistema de almacenamiento.
- Toma de decisiones adecuadas para el control de los niveles de calidad de potencia.

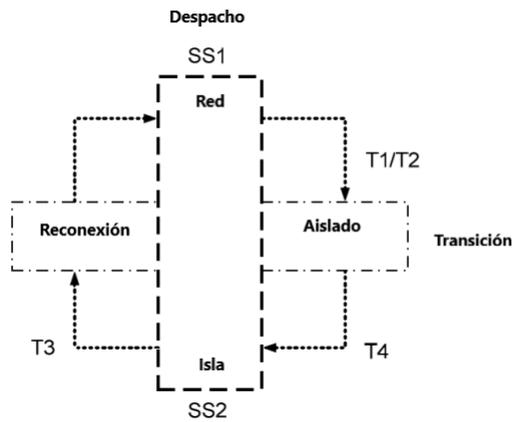


Figura 2.18: Interacción entre el despacho y las funciones de transición,[5]

Ahora bien, teniendo en cuenta los requerimientos de los estados (SS1 y SS2) y las transiciones (T1 a T4) que se pueden tener en las micro-redes la figura 2.18 muestra el ciclo de interacción entre los estados y el despacho para entender mejor la forma en la que se debe comportar el sistema aplicando las lógicas de transición, supervisando y controlando los apartados de cada estado previamente mencionados.



---

## Capítulo 3

# Modelos del sistema

---

En este capítulo se presentarán los modelos desarrollados de digitalización de la micro-red propuesta para el caso de estudio que se describe en el capítulo 4.

### 3.1. Diseño del modelo óptimo de generación

Para elaborar el modelo óptimo de generación de la micro-red que se desea tener en el conjunto Dalí se propone la arquitectura eléctrica de la figura 3.1 del anexo A con los siguientes componentes:

- Paneles fotovoltaicos.
- Aerogeneradores de 1kW.
- Baterías Plomo-ácido.
- Conversor AC/DC bidireccional.
- Conexión a la red eléctrica local.

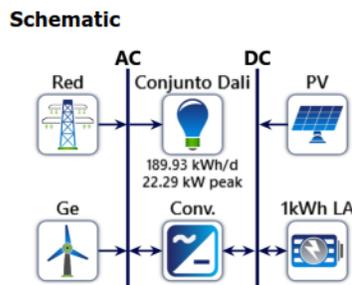


Figura 3.1: Arquitectura eléctrica de la micro-red conjunto Dalí

Teniendo definida la arquitectura de generación, figura **3.1**, junto con el consumo del conjunto Dalí que se observará en la sección 4.4, se requieren saber los costos de los componentes de generación y los recursos energéticos disponibles en el conjunto para así poder calcular el modelo óptimo de generación.

### 3.1.1. Costo de los Componentes

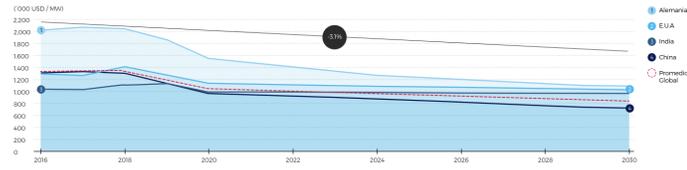
El software especializado HOMER energy utiliza entre sus variables de optimización los costos de los equipos utilizados para la micro-red que es objeto de estudio del presente proyecto.

En la figura **3.2** podemos observar las tendencias globales de precios de los diferentes recursos energéticos según los estudios del BID, cabe notar cómo en todos los casos estos precios tienden a la baja a futuro, esto dado al uso cada vez más frecuente de estas tecnologías. Para el año en el cual se realiza el presente proyecto podemos observar en la tabla **3.1** el promedio de costos de la capacidad instalada[25]:

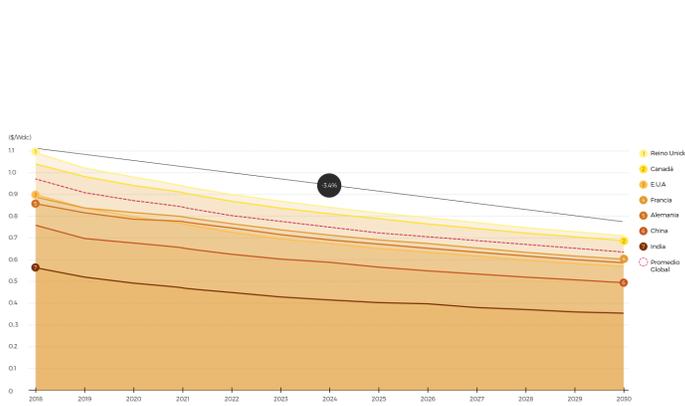
**Tabla 3.1:** Tendencia global de precios de capacidades instaladas,[25]

Tecnología	Costo(USD/MW)
Eólica	1'000.000
Fotovoltaica	800.000
Componentes fotovoltaicos	300.000
Sistema de almacenamiento	1'200.000

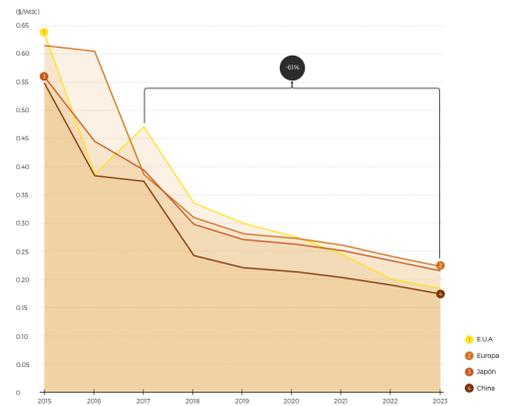
En adición a estos valores, se debe tener en cuenta el costo de la energía vendida por la red local a los habitantes del caso de estudio la cual es de \$569,53 COP/kWh (costo kWh a febrero 2022). Partiendo del hecho de que la tasa de cambio al momento de la elaboración del presente trabajo de grado es de \$ 3.700 COP lo que equivaldría en dolares americanos a 0,150\$/kWh.



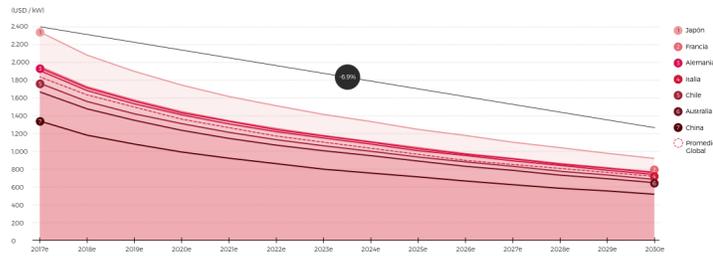
(a) Capacidad instalada eólica



(b) Capacidad instalada fotovoltaica



(c) Componentes para instalaciones fotovoltaica



(d) Sistemas de almacenamiento de energia

Figura 3.2: Tendencias globales de precio de los recursos de una micro-red, [25]

### 3.1.2. Recursos energéticos

El software especializado HOMER energy utiliza entre sus variables de cálculo y optimización los recursos energéticos disponibles en el emplazamiento de la micro-red para lo cual contamos con los siguientes recursos:

#### Recurso solar

Dada la ubicación del conjunto residencial Dalí, Homer energy se apoya en los datos recolectados por la NASA en su base de datos, NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) database, como se muestra en la figura 3.3 donde podemos observar los datos de radiación e índice de claridad para el conjunto del cual se pueden ver todas las características en la sección 4.



Figura 3.3: Radiación diaria e índice de claridad en el conjunto residencial Dalí, POWER NASA

#### Recurso eólico

Dada la ubicación del conjunto residencial Dalí, HOMER energy se apoya en los datos recolectados por la NASA en su base de datos (POWER), como se muestra en la figura 3.4 donde podemos observar el promedio de velocidad de viento mensual a la altura descrita en la sección 4.2 de los edificios.



Figura 3.4: Velocidad de viento promedio a 15m de altura en el conjunto Dalí, POWER NASA

## 3.2. Modelo eléctrico micro-red conjunto residencial Dalí

Para elaborar el modelo eléctrico de la micro-red que se desea tener en el conjunto residencial Dalí detallado en la sección 3.1, integrado al sistema existente que se ve en los diagramas unifilares del anexo B, se realizaron los siguientes arreglos con base en la generación óptima que se puede observar en la figura 5.1 y con el modelo propuesto en la figura 3.1:

- Cada bloque tendrá 4 aerogeneradores.
- Cada bloque tendrá un arreglo de 14 paneles fotovoltaicos.
- El conjunto Dalí tendrá dos sistemas DC con alimentación continua del sistema de baterías, control, protección y comunicación.
- El conjunto Dalí tendrá conexión a la red eléctrica local en un solo punto, el POI.

Dadas las características previamente mencionadas y como se ve en la figura 3.5 se desarrolló el sistema eléctrico visto en el Anexo C, para el cual se realizaron análisis eléctricos teniendo en cuenta situaciones ideales de clima (anexo D) y una comparación del sistema con adversidades meteorológicas (anexo E) para ver el comportamiento e interacción entre los agentes de generación y la red local. Para los modelos previamente mencionados se utilizó el perfil de

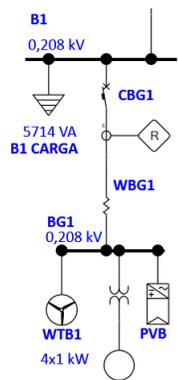


Figura 3.5: Arreglo generación y consumo torre residencial micro-grid conjunto Dalí

consumo mostrado en la sección 4.4, el cual se observa en la figura 3.6. Este perfil muestra en porcentajes el consumo típico de los bloques residenciales de la micro-red. Adicionalmente se usó el perfil típico de irradiancia para la generación fotovoltaica que se observa en la figura 3.7 y es aplicable a la locación de la micro-red.

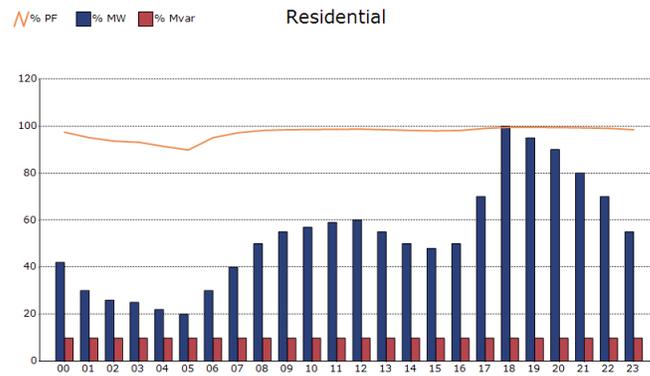


Figura 3.6: Perfil consumo bloque residencial micro-red Dalí

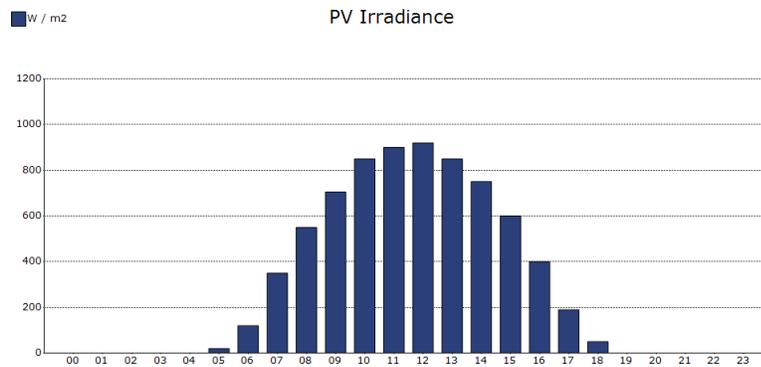


Figura 3.7: Perfil irradiancia en la micro-red Dalí

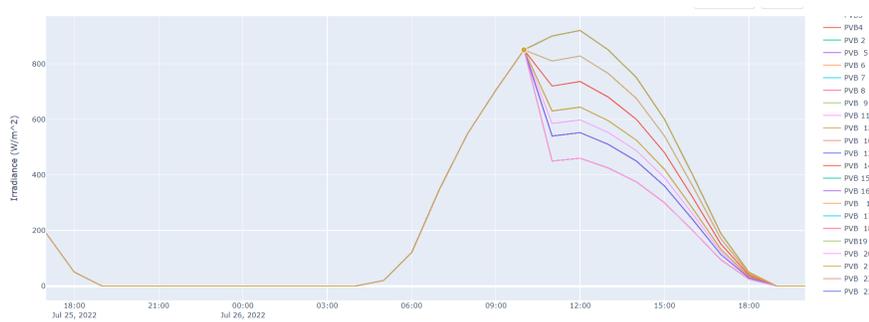


Figura 3.8: Irradiancia en los paneles con base en la tabla 3.2

Cabe señalar los valores mostrados en la tabla 3.2 y sus efectos en la irradiancia sobre los paneles, figura 3.8. Esto con el fin de analizar el comportamiento del sistema ante efectos meteorológicos.

**Tabla 3.2:** Tabla de eventos micro-red conjunto Dalí, anexo E

Nomenclatura paneles	Porcentaje nubes	Duración (s)
PVB 1	40	360
PVB 2	50	360
PVB 4	30	360
PVB 5	40	360
PVB 6	50	360
PVB 7	10	300
PVB 8	20	200
PVB 10	50	360
PVB 11	35	200
PVB 12	20	250
PVB 13	40	180
PVB 14	50	250
PVB 16	40	190
PVB 17	10	210
PVB 18	40	360
PVB 19	30	250
PVB 20	20	200
PVB 21	30	300
PVB 22	50	100
PVB 23	40	250
PVB 24	20	150
PVB 27	10	200
PVB 31	50	360

### **3.3. Arquitectura de comunicaciones micro-red conjunto residencial Dalí**

Para la elaboración del modelo propuesto de arquitectura de comunicaciones para la micro-red del conjunto residencial Dalí se tuvieron en cuenta los estándares vistos en el capítulo 1, donde se expusieron los distintos tipos de configuración en comunicaciones. Todas las configuraciones expuestas en el capítulo mencionado son sistemas ya probados y ampliamente utilizados en subestaciones de transmisión y centrales de generación eléctrica.

Para el presente proyecto se decidió usar el estándar HSR teniendo en cuenta la tabla comparativa **3.3**, se contemplaron sus ventajas y sus desventajas vistas en la sección 2.5. Adicionalmente, se estableció la configuración de VLANs en la arquitectura para dar un orden a la red de gestión y así reducir el tráfico de datos para evitar saturación en el sistema de comunicaciones, la configuración de las VLANs y sus características pueden verse en la sección 5.3.

Para la configuración tipo HSR de la micro-red se tienen los siguientes equipos para conformar la arquitectura del sistema:

- 8 Switches con 2 puertos FO fast y 8 puertos RJ45 fast para medida.
- 64 Switches tipo Redbox con 1 puerto RJ45 fast y 2 puertos FO fast para protecciones y merging units.
- 9 Switches con 2 puerto RJ45 fast para anillo programación LACP activa, 8 puertos FO fast para C& P.
- 2 switch con 2 puertos RJ45 para anillo programación LACP(\*) activo, 2 puertos RJ45 fast.
- 1 Servidor con DHCP activo.
- 32 Protecciones con funciones 50/51 y 27/59 con puerto de comunicaciones tipo RJ45 con protocolos IEC 61850-8-1 MMS y GOOSE disponible y IEC61850-9-2 Processbus Client y Merging Unit.
- 32 Merging Units con puerto de comunicaciones tipo RJ45 con protocolos IEC61850-9-2 Processbus Client y Merging Unit, IEC 61850-8-1 MMS y GOOSE, PTP (IEEE 1588v2) , DHCP, SNTP Redundancy protocols: Line Mode, PRP.
- 1 PC controlador de sistema.

(\*) El protocolo abierto LACP del estándar abierto IEEE(802.3ad) permite agrupar canales físicos preguntando activamente al otro si puede participar o va a hacerlo.

Estos equipos se distribuyen en 5 armarios de la micro-red como se observa en la figura **3.9**. En cada uno de los armarios se distribuyen los equipos de la siguiente forma:

#### **Main wiring Closet**

- 16 gabinetes cada uno con 2 relés de protección y 2 switches tipo RedBox.
- PC central de Control de la micro-red.
- 1 gabinete de comunicaciones con 9 switches del anillo principal.

#### **Wiring Closet 2**

- 4 gabinetes cada uno con 2 Merging Units y 2 switches tipo RedBox.
- 1 gabinete con 2 switches del anillo de medida.

#### **Wiring Closet 3**

- 4 gabinetes cada uno con 2 Merging Units y 2 switches tipo RedBox del anillo de protección.
- 1 gabinete con 1 switch del anillo de medida.

#### **Wiring Closet 4**

- 6 gabinetes cada uno con 2 Merging Units y 2 switches tipo RedBox del anillo de protección.
- 1 gabinete con 3 switches del anillo de medida.

#### **Wiring Closet 5**

- 4 gabinetes cada uno con 2 Merging Units y 2 switches tipo RedBox del anillo de protección.
- 1 gabinete con 2 switches del anillo de medida.

**Tabla 3.3:** Tabla comparación de protocolos, [26]

Características	RSTP	PRP	HSR
Tiempo de restablecimiento ante falla	5ms	0ms	0ms
Nivel de disponibilidad de la red	Medio	Alto	Alto
Ancho de banda	$\geq 50\%$	100%	50%
Posicionamiento en la industria	Alto	Medio	Bajo
Costo	Bajo	Alto	Medio
Escalabilidad	Medio	Alto	Alto
Sincronización	N/A	Requiere	Requiere

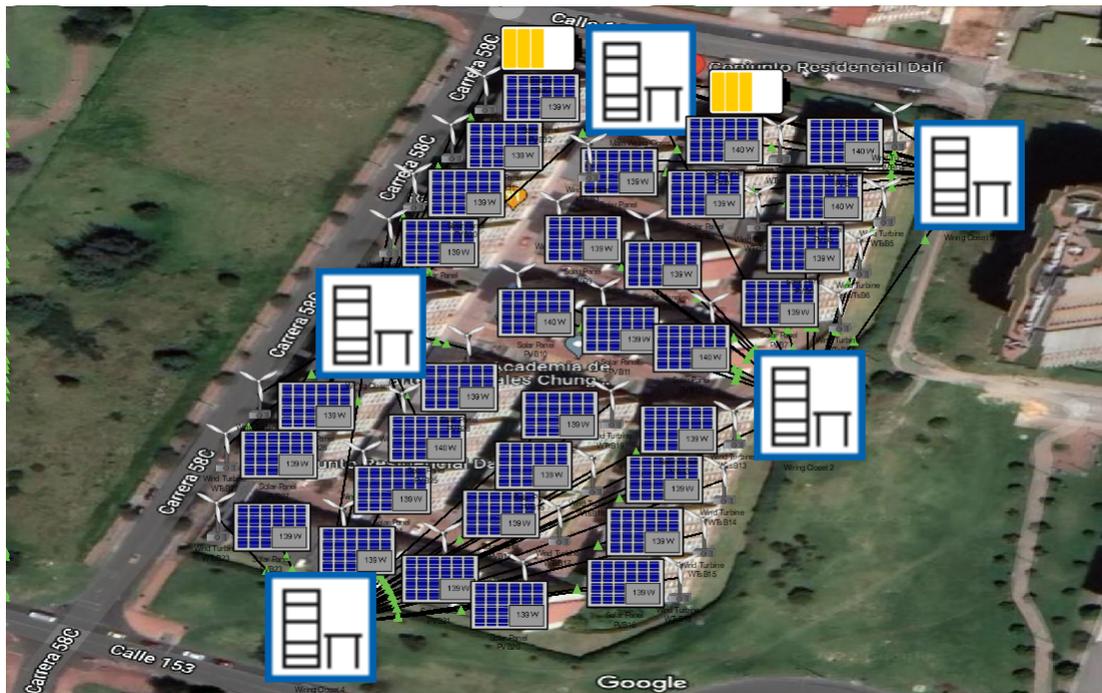


Figura 3.9: Disposición física de generación y comunicación en la micro-red conjunto Dalí

---

## Capítulo 4

# Caso de estudio

---

Para el desarrollo del presente trabajo se decidió elegir un caso de estudio el cual pudiera cumplir con las siguientes condiciones:

- **Ubicación geográfica:** el caso de estudio debe ser un lugar conocido por el autor del trabajo para así facilitar el análisis de los resultados, solucionar dudas e inquietudes que se tengan en el desarrollo de los objetivos vistos en la sección 1.3 de manera sencilla y sin retrasos por peticiones o solicitudes que se deban realizar para visitas al lugar.
- **Dimensión:** el lugar de emplazamiento de la micro-red y el sistema de control y protección de este debe ser un lugar lo suficientemente grande para poder tener un consumo considerable, espacio para los distintos tipos de generación, sistema de almacenamiento y con conexión a la red eléctrica existente.
- **Sistema eléctrico:** se deben tener los datos y características eléctricas del lugar como lo son: planos eléctricos, vista en planta, tipos y calibres de conductores.
- **Consumo:** se debe tener una idea del consumo básico que se puede tener en el caso de estudio para realizar todos los análisis eléctricos.

Bajo esta premisa, se optó por seleccionar el conjunto residencial Dalí, ubicado en la ciudad de Bogotá el cual cuenta con las siguientes características:

### 4.1. Ubicación geográfica

EL conjunto residencial Dalí esta localizado en la ciudad de Bogotá, localidad de Suba, entre la calle 153, calle 160, la carrera 58C y la carrera 58 como se puede ver en la figura 4.1.



Figura 4.1: Conjunto residencial Dalí, Google maps

Adicionalmente este conjunto residencial cuenta con una estratificación socioeconómica número 4 como se observa en la figura 4.2 con el recuadro en negro.

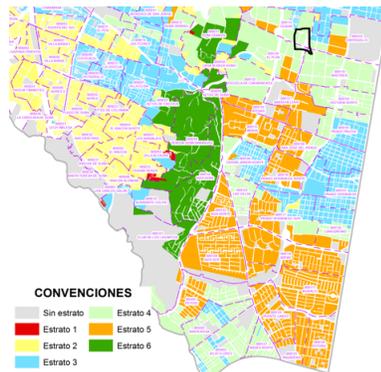


Figura 4.2: Estratificación socioeconómica conjunto residencial Dalí,[24]

## 4.2. Dimensión

El conjunto residencial Dalí tiene un área aproximada de 19.000 metros cuadrados, 200 metros de largo y 95 metros de ancho. Cada uno de los 34 bloques del conjunto tiene 17 metros de largo, 15 metros de ancho, 255 metros cuadrados de área y una altura de 15 metros.

### 4.3. Sistema eléctrico

En la figura 4.3 se puede observar un esquema simplificado con base en el anexo B donde se puede observar el diagrama unifilar del sistema eléctrico existente del conjunto residencial Dalí el cual cuenta con dos subestaciones eléctricas con transformadores de 400kVA para alimentar 816 viviendas, zonas comunes, bombas y eyectoras [22].

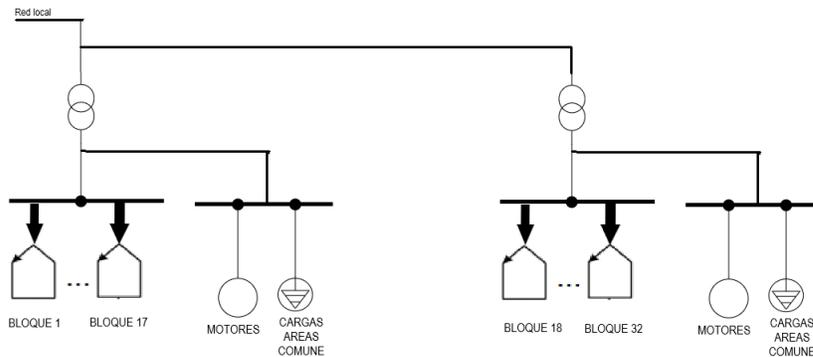


Figura 4.3: Esquema básico unifilar sistema eléctrico existente conjunto residencial Dalí

### 4.4. Consumo

Para obtener el consumo del conjunto residencial Dalí y sus 816 viviendas, se optó por buscar un estudio estadístico que fuera compatible con las características socioeconómicas del caso de estudio del presente proyecto. Para esto se tomó como base la tesis de grado en la modalidad de investigación, análisis de la curva de demanda eléctrica para usuarios residenciales estrato 4 en la ciudad de Bogotá ante los diferentes escenarios de los hábitos de consumo[23]. Esta analiza el efecto que tienen las variaciones en los hábitos de consumo en la curva de demanda eléctrica de usuarios residenciales estrato 4 en la ciudad de Bogotá y presenta la curva promedio de consumo diario de una unidad familiar como las del presente trabajo.

En la figura 4.4 se puede observar el resultado del estudio estadístico de los hábitos de consumo de usuarios residenciales estrato 4 con su desviación estándar. En ella podemos observar que los máximos de demanda por usuario son en las horas de la mañana, 5 a 7am, antes de los horarios laborales y en la noche, 7 a 9pm, después de los horarios laborales, datos que concuerdan con lo sabido del comportamiento de la curva de carga característica de una vivienda en Colombia.

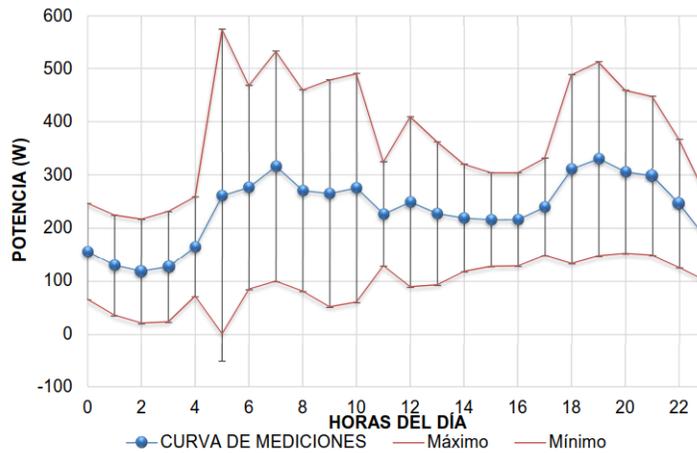


Figura 4.4: Curva de demanda eléctrica del usuario residencial estrato 4 de la ciudad de bogotá, [23]

Teniendo en cuenta la figura 4.4 y la descripción eléctrica realizada en la sección 4.3 con las cargas máximas totales del conjunto residencial Dalí se puede obtener la figura 4.5 la cual representa la suma del consumo de las 816 viviendas y las cargas de zonas comunes del conjunto y así se obtiene la curva de carga característica de consumo eléctrico del conjunto residencial Dalí.

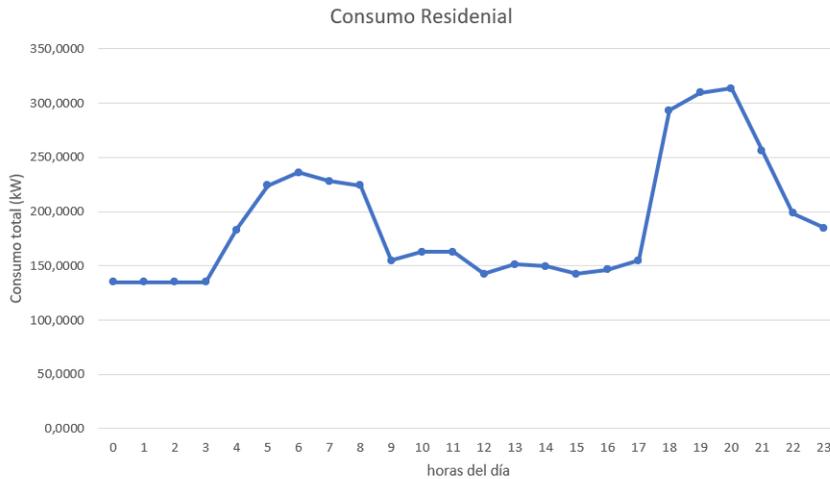


Figura 4.5: Curva de demanda eléctrica del conjunto residencial Dalí

Con base en la figura 4.5 se puede modelar la carga requerida para el desarrollo del objetivo específico 1.

---

## Capítulo 5

# Análisis de resultados

---

En este capítulo se van a exponer los resultados obtenidos en el desarrollo de los objetivos específicos con sus correspondientes análisis.

### 5.1. Sistema óptimo de generación

Teniendo en cuenta los datos vistos en las secciones 3.1.1 y 3.1.2 el software especializado Homer pro nos entrega dos opciones de sistemas de generación óptimos para la micro-red, aquí cabe aclarar que el sistema diseñado no contempla la venta de excedentes a la red. Como se ve en la figura 5.1 las dos opciones contemplan la generación de energías renovables y conexión a la red eléctrica, sin embargo, las dos opciones difieren en el uso de baterías.

Architecture								Cost			
PV (kW)	Ge	1kWh LA	Red (kW)	Conv. (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)		
118	130		999,999	14.4	CC	\$362,604	\$0.409	\$10,485	\$228,575		
123	127	1	999,999	13.4	CC	\$364,556	\$0.411	\$10,501	\$230,324		

Figura 5.1: Resultados óptimos micro-red conjunto Dalí, anexo A

Al ver la figura 5.1 se puede observar que la mejor opción es sin baterías y en segundo lugar con baterías, esto dado a los costos asociados a los almacenadores y su poco aporte al sistema. Sin embargo, para el presente proyecto se utilizará con baterías para desarrollar los objetivos específicos 2 y 3. Se analizarán los resultados de una micro-red con generación eólica y fotovoltaica, almacenamiento en baterías y conexión a la red sin venta de excedentes junto con la carga del conjunto residencial Dalí.

La figura 5.1 nos muestra que la micro-red debería estar compuesta de:

- Paneles fotovoltaicos de 123kW.

- 123 aerogeneradores de 1kW/cu.
- Baterías con capacidad de 1kWh.
- Conexión a la red eléctrica.
- Conversor AC/DC con capacidad de 13,4 kW.

Con los elementos anteriormente dados y los recursos energéticos presentados en la sección 3.1.2 la micro-red tendría una producción como se ve en la tabla 5.1 donde la mayoría de la energía aportada a la carga de la micro-red es solar fotovoltaica (74,5 %) seguida de la red eléctrica local (14,9 %) y la eólica (10,6 %).

**Tabla 5.1:** Resumen de producción energética micro-red conjunto Dalí, anexo A

Componente	Producción (GWh/año)
Paneles solares	172,96
Aerogeneradores 1kW	24,60
Compras a la red local	34,66
Total	232,23

Es interesante mencionar que los resultados del desarrollo muestran que la micro-red tiene excedentes de 161,8 GWh/año como se observa en los resultados del anexo A, siendo esto una oportunidad para que la micro-red comercialice energía y así reducir el tiempo de amortización de gastos incurridos para su construcción.

Analizando los resultados anteriormente expuestos es interesante ver cómo se comporta cada uno de los componentes que tiene la micro-red.

### 5.1.1. Paneles fotovoltaicos

Como se dijo anteriormente el sistema de generación fotovoltaico tiene una capacidad de 123kW con una generación diaria, según los resultados del anexo A, de 474kWh. Comparando esto con el consumo promedio del conjunto equivalente a 189,93kWh/día como se ve en la figura 3.1 se puede deducir que los excedentes previamente mencionados son dados por los paneles solares durante su ventana solar teniendo así una penetración total del 249 % y un total de producción anual de 4.380 horas. Ahora bien, si analizamos la figura 5.2 podemos ver el comportamiento de los paneles durante el año en el cual tiene una ventana solar de 6am a 6pm con una producción pico de hasta 117kW en los meses de enero, febrero, marzo,

agosto y septiembre. Esto en concordancia con la figura 3.3 donde se observa que para estos meses se tiene la radiación más alta.

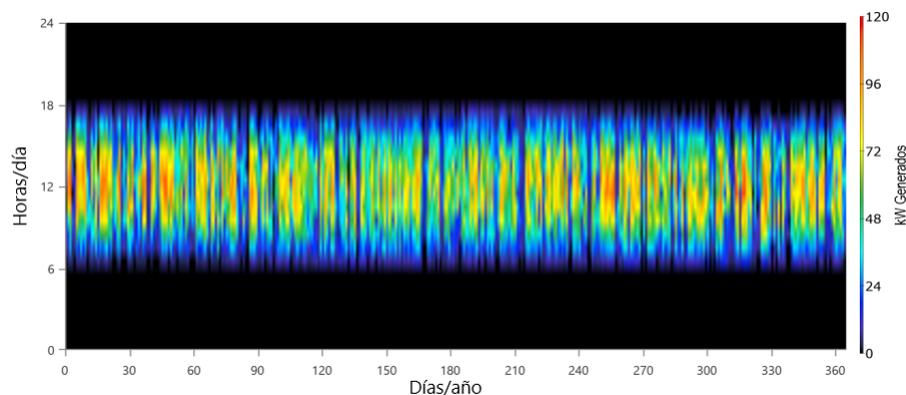


Figura 5.2: Generación fotovoltaica en la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A

Para futuros estudios podría ser provechoso tener en cuenta el intercambio de estos excedentes con la red local para analizar el comportamiento del sistema, la red local y los controladores.

### 5.1.2. Generadores eólicos

Como se vio en la figura 5.1 el sistema de generación eólica cuenta con 127 generadores de 1kW para una generación de 127kW, una penetración del 35,5 %, una generación pico de 113kW y un total de 4.178 horas de operación en el año. Adicionalmente se puede observar en la figura 5.3 que la producción de energía eólica es dispersa y escasa en comparación con la generación fotovoltaica.

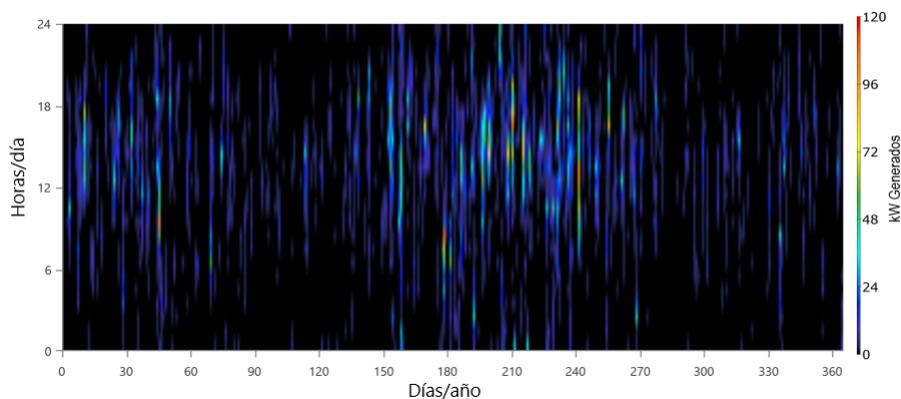


Figura 5.3: Generación eólica en la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A

### 5.1.3. Almacenamiento en baterías

Según los resultados vistos en la figura 5.1 el mejor resultado debería ser sin baterías, sin embargo, para el propósito del presente proyecto se utilizará la segunda opción la cual emplea el sistema de almacenamiento el cual tiene una capacidad de 1kWh, no obstante, como se puede ver en la figura 5.4 el sistema no hace uso del almacenamiento en baterías ya que una vez estas se cargan, el sistema no las usa; dado que la red actua como un gran almacenador de los excedentes de la micro-red.

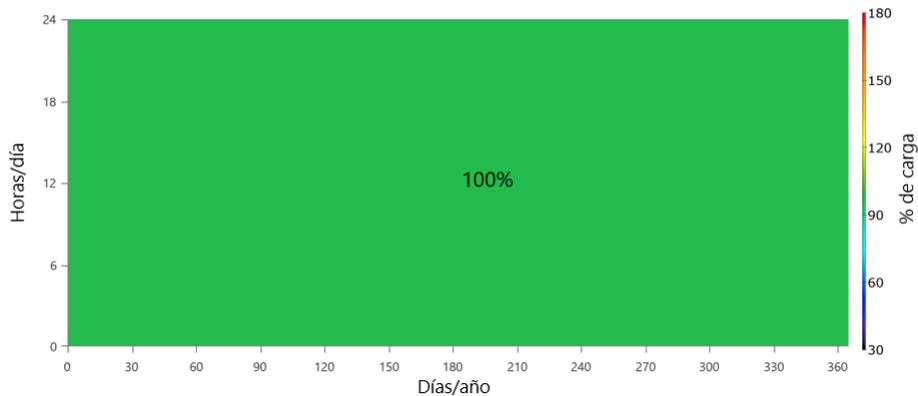


Figura 5.4: Sistema de almacenamiento en baterías en la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A

### 5.1.4. Red local Codensa

Según los datos obtenidos en la tabla 5.1 las compras a la red local son de un total de 34.661kWh los cuales están distribuidos de forma más detallada en la tabla 5.2 donde se pueden observar las comprar realizadas en cada mes del año.

**Tabla 5.2:** Resumen de compra energética micro-red conjunto Dalí a la red local, anexo A

Mes	Energía compra- da(kWh)
Enero	3.056
Febrero	2.469
Marzo	3.121
Abril	3.176
Mayo	2.947
Junio	2.546
Julio	2.506
Agosto	2.644
Septiembre	2.863
Octubre	3.123
Noviembre	3.116
Diciembre	3.054

En adición a los datos de la tabla 5.2 podemos ver en la figura 5.5 que las compras efectuadas a la red local Codensa fue en su gran mayoría por fuera de la ventana solar, siendo inferiores a 3,5kWh con un pico de demanda máxima de 20kW.

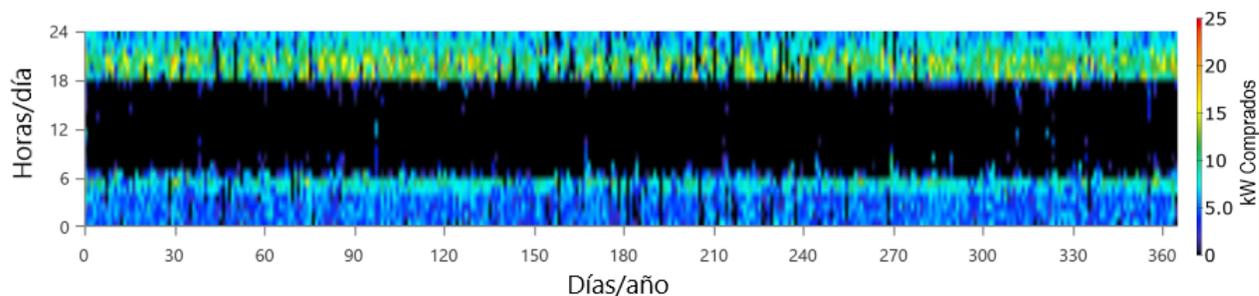


Figura 5.5: Compra de energía la red local por parte de la micro-red conjunto Dalí en un año, anexo A

### 5.1.5. Comportamiento diario de la Micro-red conjunto residencial Dalí

Teniendo en cuenta los datos anteriormente expuestos se puede obtener la figura 5.6 en la cual podemos observar el comportamiento eléctrico del sistema completo en un día, desde los distintos sistemas de generación renovable, la de la red eléctrica local, las baterías y la carga. Es importante esta figura ya que es con ella que se pueden realizar los ajustes de control para así aprovechar de la mejor manera los recursos disponibles en la micro-red conforme a las necesidades de la carga; con ella se pueden hacer las siguientes afirmaciones:

- Se tiene un gran excedente de energía fotovoltaica y eólica que se puede almacenar en un sistema de baterías mayor y así utilizarlo en horas fuera de la ventana solar.
- Los excedentes pueden comercializarse para así reducir el tiempo de retorno de la inversión.
- Programar el sistema de control para que las baterías entreguen energía a la micro-red en horas de carga baja y por fuera de la ventana solar para así reducir aún más la necesidad de comprar de energía a la red eléctrica.

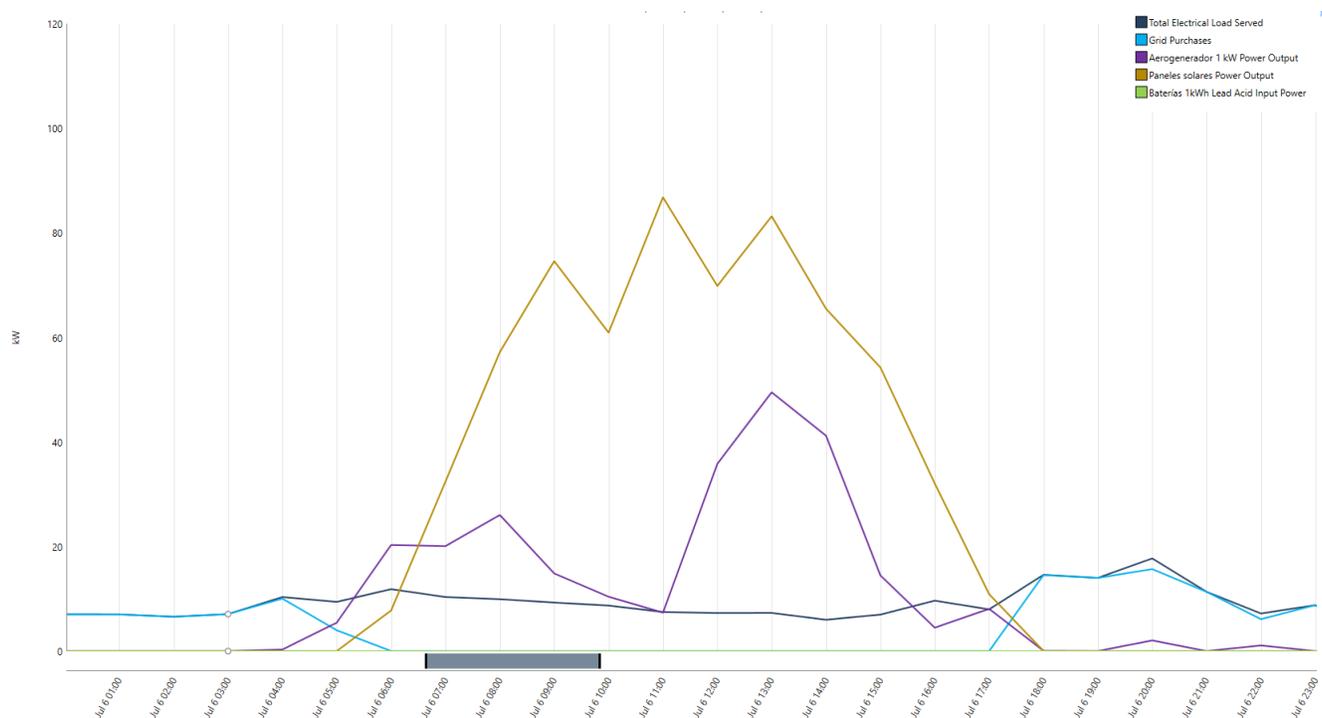


Figura 5.6: Comportamiento eléctrico de la micro-red conjunto Dalí en un día, Homer energy

## 5.2. Sistema eléctrico micro-red conjunto residencial Dalí

Tomando como base los datos de la sección 5.1 para la generación óptima de la micro-red, el consumo residencial visto en la sección 4.4 y la disposición eléctrica existente del conjunto residencial expuesto en el anexo B se realizó el diagrama unifilar del anexo C, base para los estudios eléctricos del sistema trabajando en un modelo ideal, anexo D, y un modelo real con perturbaciones climáticas, anexo E.

Partiendo de los resultados mencionados con anterioridad y los expuestos en la figura 5.7 podemos observar que las perturbaciones meteorológicas afectan, como es de esperar, en la generación fotovoltaica, sin embargo, es interesante ver que es el sistema de baterías quien asume esta generación entregando la parte faltante por el sombreado en los paneles; esto podemos verlo con más detalle en la tabla comparativa 5.3 donde se ve segregado el aporte de cada uno de los componentes que entregan energía a la micro-red del conjunto residencial Dalí. De la tabla mencionada podemos ver que el sistema fotovoltaico pierde un 30 % de participación en la generación respecto al aporte en el sistema ideal, dada esta pérdida se observa que el sistema eólico aumenta su participación en 5 %, adicionalmente las baterías tienen un aumento en su participación del 8 % con respecto al sistema ideal. Ahora bien, es interesante mencionar que una hipótesis que se tenía previo al estudio del caso con problemas meteorológicos era que la red local asumiría la caída de generación solar, no obstante, observando los resultados de la tabla 5.3 se ve que contrario a la hipótesis la red deja de contribuir a la micro-red en un 2,3 %. Teniendo en cuenta lo visto previamente es interesante ver cada uno de los componentes de generación segregados comparado con las estimaciones hechas previamente en la sección 5.1.

**Tabla 5.3:** Generación de la micro-red sistema ideal y nublado, anexo D y E

Sistema de generación	Sistema ideal(kWh)	Sistema nublado (kWh)
Eólico	981,2173	983,2039
Solar	922,7923	638,7125
Red local	2.188,1453	2.159,8520
Baterías	4.076,8530	4.400,2408

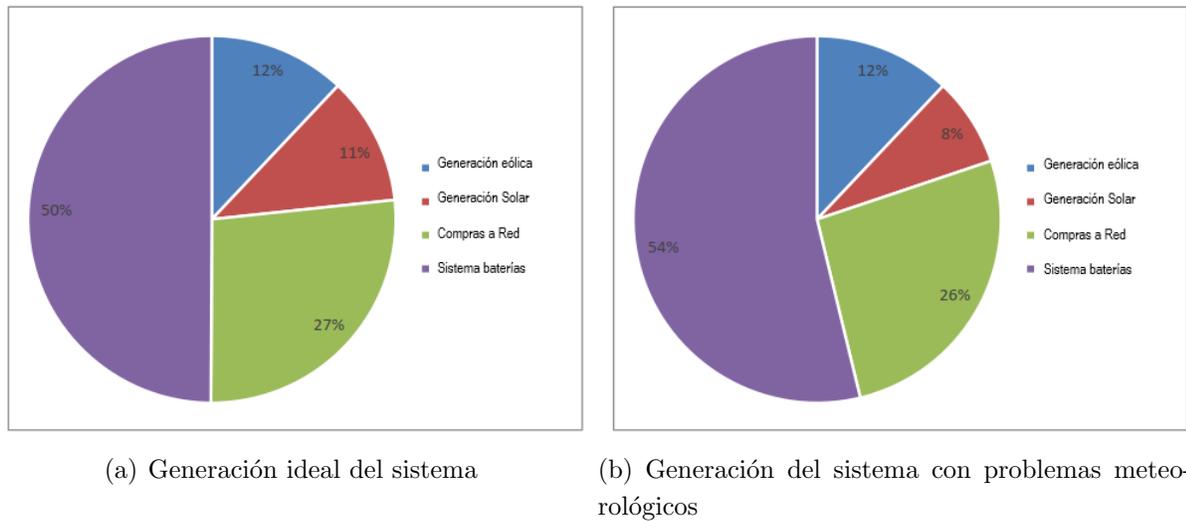


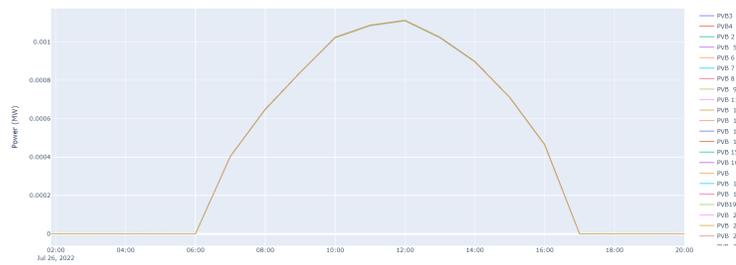
Figura 5.7: Comparación de generación eléctrica de la micro-red Dalí, anexos D y E

### 5.2.1. Paneles fotovoltaicos

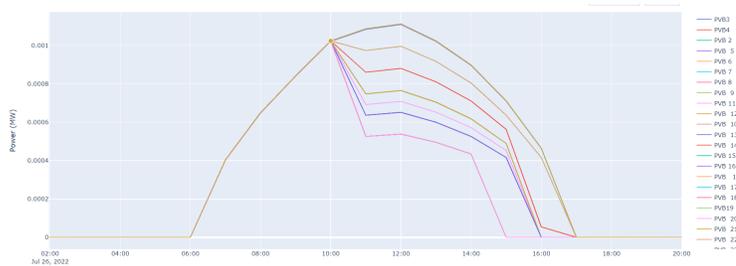
Con base en lo expuesto en la sección 5.1 y los datos obtenidos en los anexos D y E es interesante comparar los resultados en los casos de los dos anexos mencionados y estos a su vez con las predicciones de generación realizadas en la sección citada previamente.

En primer lugar es llamativo ver la figura 5.8 donde se compara el sistema ideal con el perturbado por nubes, en este podemos observar en la imagen (a) la generación del sistema fotovoltaico de forma ideal en un día soleado sin nubes, por lo cual se forma perfectamente la ventana solar de la figura 3.8, ahora bien, en la imagen (b) se ve el mismo sistema fotovoltaico expuesto a los porcentajes de nubes y su correspondiente duración de la tabla 3.2, en esta imagen vemos que ante nubosidades la generación cae como es de esperarse por el periodo en el que la nube obstruye el panel.

Es interesante analizar la figura 5.9 la cual es la generación total del sistema fotovoltaico visto en la figura 5.8 (b), aquí se puede ver como concuerda con la ventana de generación solar visto en la figura 5.6, sin embargo, si analizamos los valores de generación se ve que las predicciones de la sección 5.1 distan de los resultados de esta sección teniendo una generación pico de 45kW, mientras que en la sección anterior según la figura 5.6 la máxima generación es de 83kW ya que en la sección pasada los cálculos realizados son solo estimativos con un sistema casi ideal mientras que en esta sección se manejan cálculos reales, pérdidas en subsistemas, generación discontinua y consumo irregular.



(a) Generación ideal fotovoltaica



(b) Generación fotovoltaica con problemas meteorológicos

Figura 5.8: Comparación de generación fotovoltaica de la micro-red Dalí



Figura 5.9: Generación fotovoltaica total micro-red Dalí

### 5.2.2. Generadores eólicos

El sistema de generación eólica que se describió en la sección 5.1 se representó de la misma forma para este objetivo específico. Teniendo en cuenta la figura 5.10 y comparándola con la figura 5.3 se puede observar que el sistema eólico no tiene una generación importante de forma individual, sin embargo, todos los aerogeneradores en conjunto generan en los dos casos realizados (anexos D y E) la misma cantidad de energía que el componente fotovoltaico como se observa en la figura 5.7. Ahora bien, si comparamos las tablas 5.3 con 5.1 en el apartado eólico podemos observar una gran disparidad ya que en la sección 5.1 la generación

anual es de 24.604 kWh/año mientras que en esta sección la generación en el peor caso es 981,2173 kWh/día, si extrapolamos al año serían aproximadamente 358.144,3140 kWh/año, estos valores no llegan a compararse y puede ser debido a varios factores. El primero de ellos es debido a que el software especializado Etap no tiene la base de datos climatológicos del software usado en la sección 3.1 por lo cual calcula todos los días sin variaciones de viento. El segundo es una restricción de generación a un 40% esto debido a que en condiciones normales el sistema no genera el 100% de su capacidad por aspectos meteorológicos. Y, por último, según los catálogos escogidos de aerogeneradores estos generan cada uno 1kW a una velocidad de 12 m/s y en el emplazamiento de la micro-red Dalí descrito en la sección 3.1.2 figura 3.4 la velocidad de viento a la altura de los aerogeneradores no supera los 3m/s, Sin embargo, el sistema sigue generando una gran cantidad de energía y esto es debido a que no tiene en cuenta variaciones de viento en los diferentes días del año como en la sección 3.1 figura 5.3.

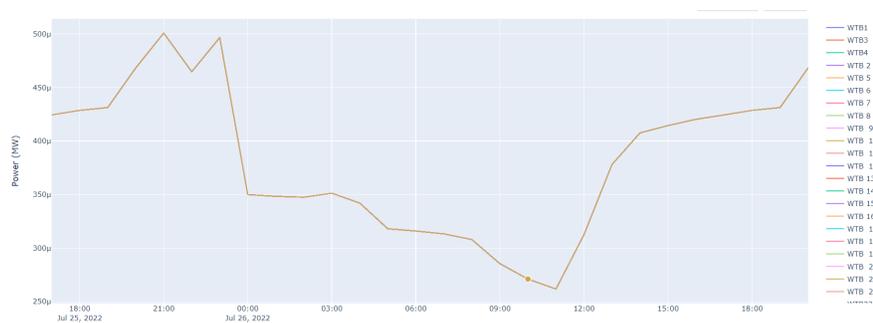


Figura 5.10: Generación eólica micro-red conjunto residencial Dalí

### 5.2.3. Almacenamiento en baterías

El sistema de almacenamiento es interesante analizarlo ya que se tienen diferencias radicales en esta sección con respecto a lo visto en la sección 5.1. En la figura 5.11 se puede observar el comportamiento del sistema de baterías integrado a la micro-red, vale la pena comparar este comportamiento con el visto en la sección 5.1 por que si observamos el apartado de baterías de la sección mencionada en la figura 5.5, según los resultados del anexo A el sistema de baterías no es necesario desde el punto de vista económico y técnico. Ahora bien, si vemos los resultados de los anexos D y E es el sistema de baterías el que más aporta a la micro-red Dalí como se ve en la figura 5.7, adicionalmente en la figura 5.11 se observa como el sistema de baterías hace su mayor aporte a las 18 horas, esto concuerda con los consumos máximos del conjunto como se ve en la sección 4 figuras 4.4 y 4.5. Esto a diferencia de la sección 3.1 figura 5.4 donde se ven las baterías totalmente cargadas y sin ningún uso, si

analizamos la tabla **5.3** podemos observar que las baterías generan más del 50% siendo esto importante para reducir el consumo de la red local y crear una independencia de la misma.



Figura **5.11**: Generación baterías micro-red conjunto residencial Dalí

#### 5.2.4. Red local Codensa

En esta sección se analiza el comportamiento de la red local y sus aportes energéticos al sistema de la micro-red, es interesante analizar la figura **5.12** donde se observan los aportes de la red local, aquí se ve que el sistema no requiere mayor intervención de la red local, más aún, la micro-red entrega energía a la red en horas de la ventana solar, 7 a.m. a 3 p.m., lo cual es aplicable para futuros trabajos sobre la interacción de micro-redes con las redes locales, en adición a lo dicho, es importante comparar estos resultados con los vistos en la sección 3.1 en la figura **5.5**, tablas **5.1** y **5.2** ya que se puede observar que la red es el segundo aporte más importante en la micro-red, sin embargo, cabe aclarar que en la sección 3.1 el sistema fotovoltaico era el que más entregaba energía seguido de la red local. En contraste con esta sección donde las baterías son indispensables como se observa en la figura **5.7** siendo las mayores aportantes al sistema a diferencia de la sección 5.1 donde estas son totalmente descartadas dado el alto costo de esta tecnología como se observa en la figura **3.2**.

Retomando el análisis de la figura **5.12** se deduce que la red local es un soporte de la micro-red ya que la curva que describe el aporte de la red local no supera en su máxima contribución los 25kW cumpliéndose así las expectativas de tener la red local como respaldo, teniendo el sistema de generación renovable y las baterías como fuente de alimentación principal.

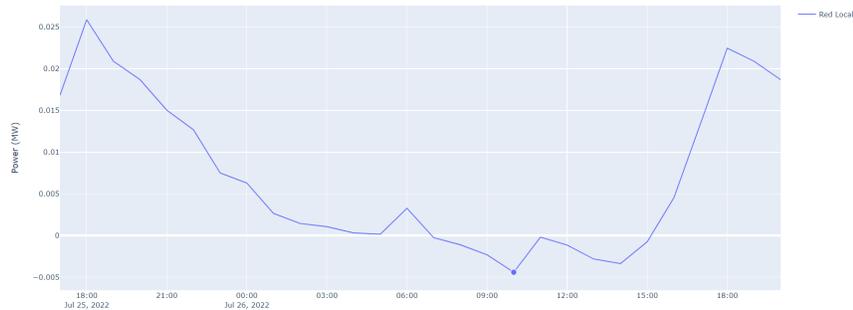


Figura 5.12: Aporte de energía red local a micro-red conjunto residencial Dalí

### 5.2.5. Comportamiento diario de la Micro-red conjunto residencia Dalí

Teniendo en cuenta los resultados expuestos en las secciones anteriores se lograron elaborar las figuras 5.13 y 5.14 las cuales muestran el comportamiento del sistema. Es importante comparar estas imágenes con la figura 5.6 la cual muestra la predicción de comportamiento eléctrico de la micro-red en un día. Podemos observar que las figuras de esta sección distan de la vista en la sección 5.1, las diferencias en los subsistemas son significativas en cuanto a generación y comportamiento:

- El sistema fotovoltaico genera mucho más en las predicciones de la sección 5.1 que en la presente, esto debido a las nubes inducidas a todos los paneles solares en la tabla 3.2, produciendo así una caída de generación con respecto a la sección previa de casi un 50 %.
- El sistema eólico genera mucho más en la sección 5.1 que en esa sección los generadores producían 1kW con los vientos de la locación mientras que para la presente sección en a las especificaciones técnicas de los aerogeneradores generan 1kW a 12 m/s y en la locación solo se tienen vientos de hasta 3 m/s.
- La red local no es tan usada en esta sección como en la 5.1 ya que a diferencia de esa aquí el sistema de baterías tiene preponderancia, mientras que en la sección anterior este sistema no tenía uso alguno, dando así como resultado un mayor uso de la red local.
- El sistema de baterías siendo el mayor aportante de la micro-red es de esperar que tenga el mismo perfil que el de la carga y que los otros tipos de generación realicen su aporte en las capacidades que pueden con el complemento de la red local para así cumplir con la demanda del sistema.

Es interesante ver la gran diferencia en esta sección con respecto a la 5.1 ya que en ella el sistema de baterías no era necesaria y aún seleccionando esta tecnología las predicciones del sistema solo la cargaban y las dejaban sin uso como se ve en la figura 5.4, mientras en la presente sección las baterías tienen gran relevancia.

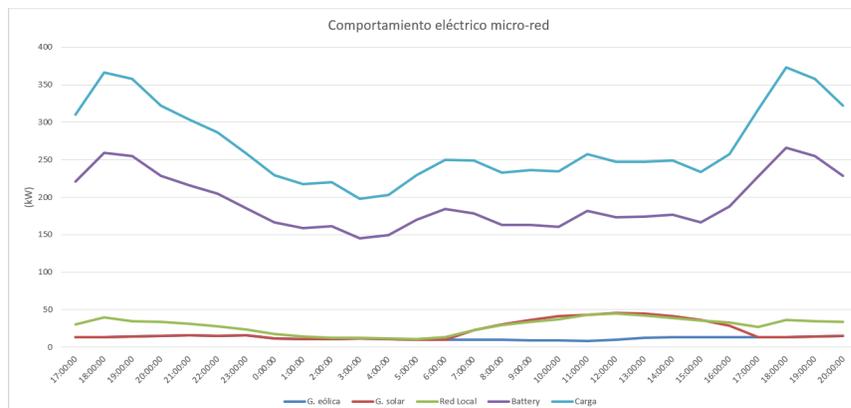


Figura 5.13: Comportamiento eléctrico micro-red conjunto Dalí, ETAP

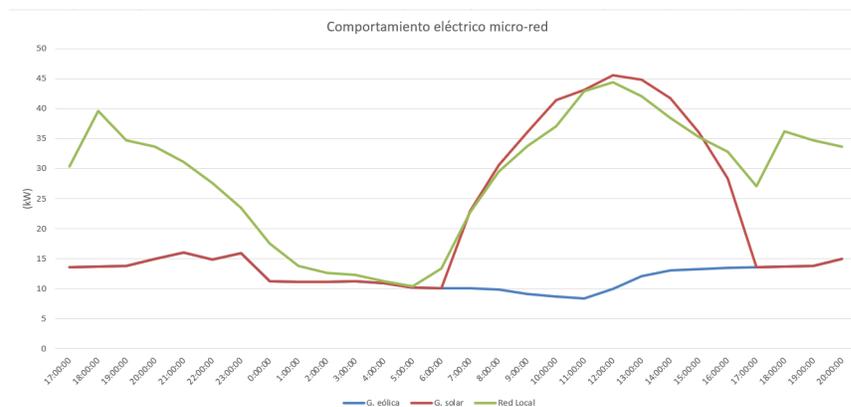


Figura 5.14: Comportamiento de la generación eléctrica micro-red conjunto Dalí y la red local, ETAP

### 5.3. Red de gestion micro-red conjunto residencial Dalí

Para el análisis del sistema de comunicación para el control y protección de la micro-red del conjunto residencial Dalí, dadas las características de la sección 3.3 se obtiene la arquitectura de la figura 5.15 donde podemos observar el sistema de comunicaciones en anillo. Se pueden detallar 4 anillos los cuales son: el anillo principal de la micro-red en conexión eléctrica RJ45 (línea punteada negra) y los anillos de medida y protección en fibra óptica (línea roja). Esto dadas las distancias que se tienen en el conjunto residencial y teniendo en cuenta las restricciones de longitudes para el sistema de conexión Ethernet RJ45 que debe ser menor a 100 metros para evitar perdidas de información. Ahora bien, para la configuración del sistema de comunicaciones se optó por manejar 3 tipos de VLANs para así separar los canales de datos y evitar loops de información o represamiento de datos, estas VLANs fueron configuradas de la siguiente forma:

- VLAN 10 sistema de control.
- VLAN 20 sistema de protección.
- VLAN 30 sistema de medida.

Una vez establecidas las VLANs mencionadas, se deben configurar todos los canales de los switches dependiendo del tipo de información que van a manejar. Para esto se deben retomar los anillos mencionados previamente y clasificarlos según los datos que manejan. De esta forma los anillos se configurarían de la siguiente manera:

- Anillo principal configurado en modo troncal para recibir las VLANs 10, 20 y 30.
- Anillos de control y protección configuradas en modo troncal para recibir VLANs 10 y 20.
- Anillo de medida configurado en modo acceso para recibir solo VLAN 30.

El sistema se configura con las VLANs mencionadas y adicionalmente en los equipos de control y protección se configuran los protocolos IEC 61850-8-1 GOOSE para proteger y controlar los dispositivos e IEC61850-9-2 para la digitalización de parametros analógicos y así distribuir la información a los equipos deseados mediante configuración publicador/subscriptor, donde el publicador es el encargado de generar la información deseada en el sistema (tensiones, corrientes, posiciones de equipos y alarmas) y el subscriptor toma está información ya sea para proteger o controlar la micro-red, en la figura 5.16 se puede observar graficamente el rol que desempeña cada dispositivo en la micro-red para la gestion de la información.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, podemos analizar los resultados del sistema de forma separada en las VLANs.

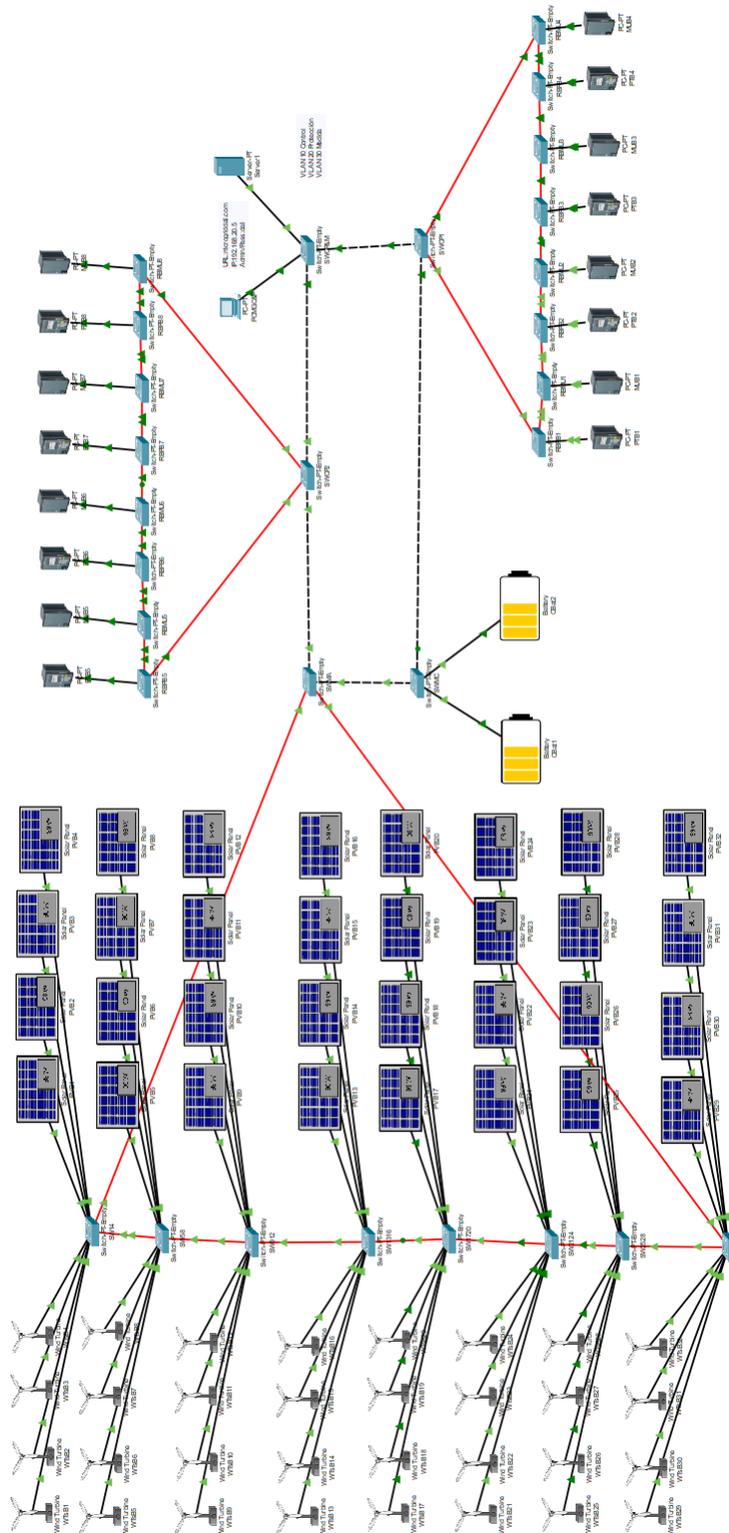


Figura 5.15: Arquitectura de comunicaciones de la micro-red del conjunto residencial Dalí

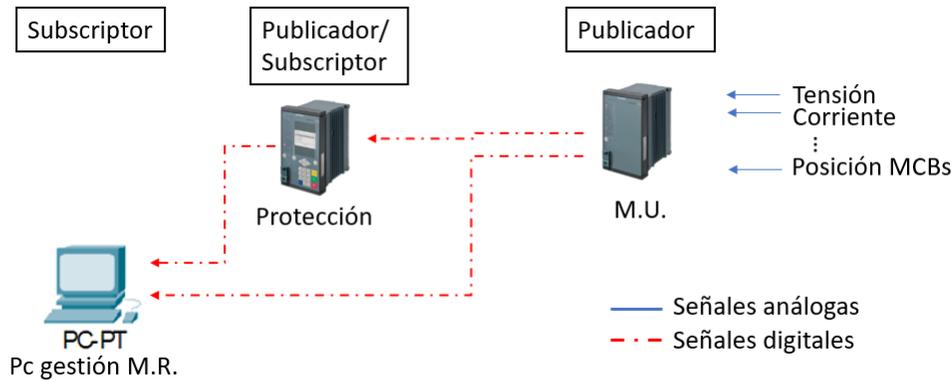


Figura 5.16: Diagrama de flujo información en la micro-red sistema publicador/subscriptor

### 5.3.1. Sistema de control VLAN 10

El sistema de control de la micro-red asignado a la VLAN 10 está encargado de manejar el sistema de generación, permitiendo abrir y cerrar los MCBs deseados de cada uno de los dispositivos de generación y el POI. El control se realiza desde el nivel superior, PC de la micro-red, donde mediante softwar especializado se programa el funcionamiento, entrada y salida de los diferentes grupos de generacion si estos cumplen con los requerimientos mínimos para el aporte de energía a la micro-red, en caso de falta de generación el sistema también debe estar en capacidad de analizar esto y enviar el comando de cierre al POI y así poder suplir con la red el deshabastecimiento. Mediante comandos hacia las Merging Units enviando a través de IEC 61850-8-1 GOOSE con nivel de prioridad bajo se realiza la acción deseada, una vez la Merging Unit reciba el comando de apertura o cierre este envía el comando al motorizado del MCB como se observa en el diagrama de operación de la figura 5.17. En la figura 5.18 se puede observar un ejemplo de conexión donde se hace una prueba de conexión TCP/IP entre la PC de la micro-red (PCMGC&P) y la Merging Unit del bloque 7 (MUB7) para confirmar la conexión entre ambos dispositivos. Como se puede observar, se realiza un envío de 4 paquetes de datos sin pérdidas con un tiempo de respuesta mínimo de 0ms, un máximo de 149ms y un promedio de respuesta de 37ms.

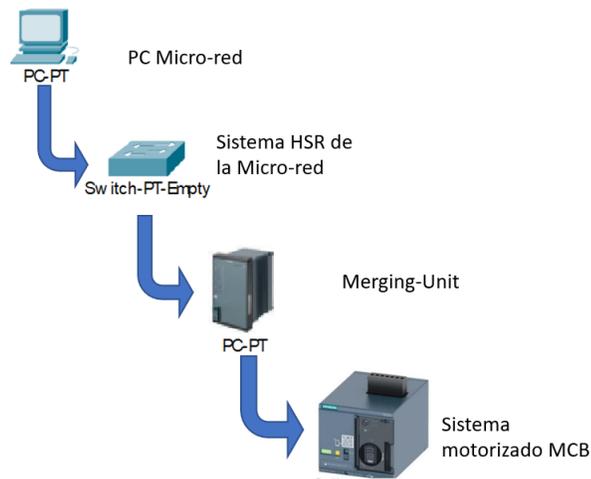


Figura 5.17: Diagrama de flujo operación sistema de control

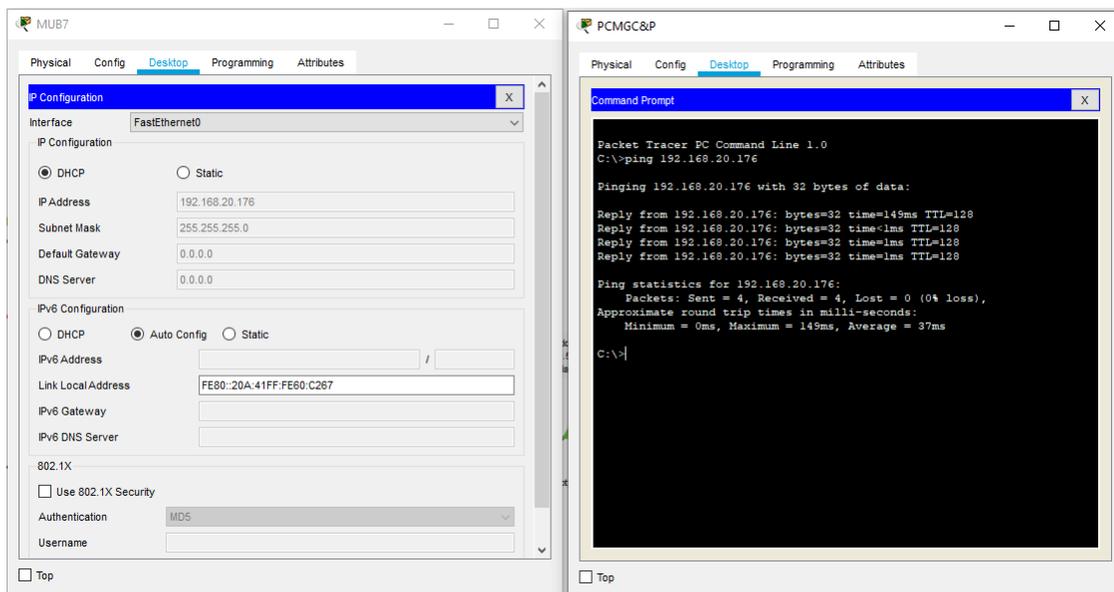


Figura 5.18: Prueba de conexión TCP/IP PC central y Merging Unit bloque 7

### 5.3.2. Sistema de protección VLAN 20

Para el sistema de protecciones asignado en la VLAN 20 se maneja el estándar IEC 61850-8-1 GOOSE el cual permite, como se observa en la figura 2.13, saltar las capas 3 (IP) y 4 (TCP) del modelo OSI para así priorizar paquetes de datos de alta importancia como son los disparos por 27/59 y 50/51 equipados en los relés de protección como se observa de manera gráfica en la figura 2.12. El diagrama flujo que se observa en la figura 5.19 muestra la operación del sistema de protección donde las Merging Units sensan la corriente y tensión del sistema de generación de cada bloque residencial y transmiten estos valores gracias al estándar de comunicaciones IEC 61850-9-2 SMV al relé de protección y al pc central de gestión de la micro-red, estos a través de su algoritmo de protección detectan la falla y envían un disparo a la Merging Unit a través de mensajería GOOSE con nivel de prioridad alto para que la Merging Unit efectúe el disparo al motorizado de los MCBS. Para el sistema

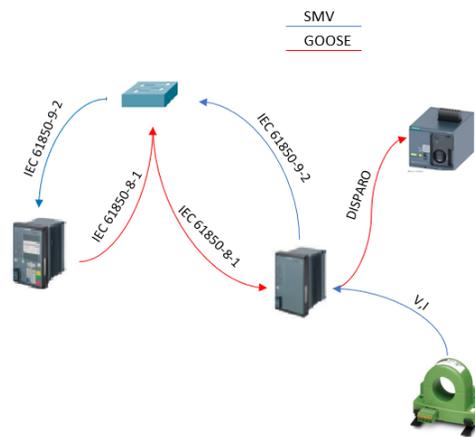


Figura 5.19: Diagrama de flujo operación sistema de protección

de protección se realizó una prueba de mensajería entre la protección y la Merging Unit del bloque residencial 8, esta mensajería es del tipo SSH (Secure shell) puerta destino 22 para simular un mensaje de alta prioridad. En la figura 5.20 se puede observar la configuración del mensaje enviado. A partir de esta configuración se observa en la figura 5.21 el flujo de datos entre los dos dispositivos y el tiempo que tarda cada etapa del proceso hasta que el relé reciba la confirmación de recibo de la Merging Unit. Se puede observar el tiempo transcurrido desde 0 cuando el relé envía la señal hasta los 16 ms en el cual el relé recibe la confirmación de recibo por parte del otro dispositivo, es decir, que en el sistema de comunicaciones de la micro-red del conjunto Dalí la señal para disparo tomó 14 ms, adicional a este tiempo se deben tener en cuenta los tiempos que tienen la Merging Unit para cierre de contacto y el motorizado para abrir el MCB. Según manual para una Merging Unit una salida binaria

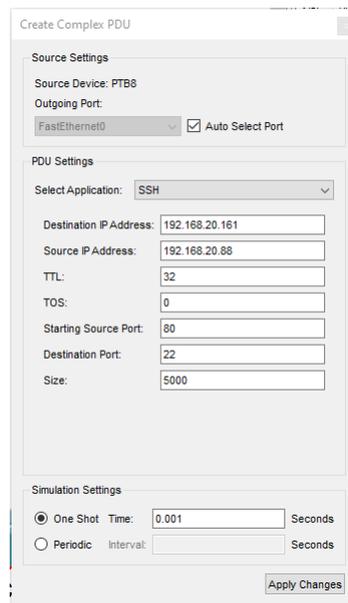


Figura 5.20: Configuración envío mensajería protección a merging unit

toma 8 ms para cerrar y un motorizado de MCB toma 35 ms, si se suman estos tiempos al del sistema de comunicaciones se obtiene un despeje de falla de 59ms.

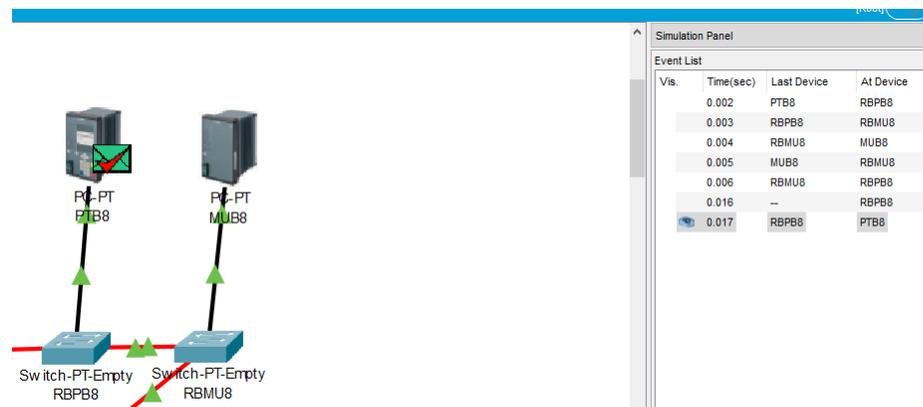


Figura 5.21: Flujo de mensajería sistema de protección

### 5.3.3. Sistema de medida VLAN 30

La última VLAN programada para el sistema de comunicaciones de la micro-red del conjunto residencial Dalí es la 30, perteneciente a la medida de generación, la cual se observa la figura 5.15 el anillo de comunicación en los paneles solares y generadores eólicos, en

adición los puertos del switch del anillo principal a los que se conectan las baterías también están programados con VLAN 30. Este subsistema de medida está encargado de recolectar toda la información de generación y estado de carga de las baterías para ser transmitida al computador central de la micro-red (PCMGC&P) para su análisis como se observa en la figura 5.22 donde se tiene el estado de las baterías, la producción en tiempo real de los paneles solares y los aerogeneradores.

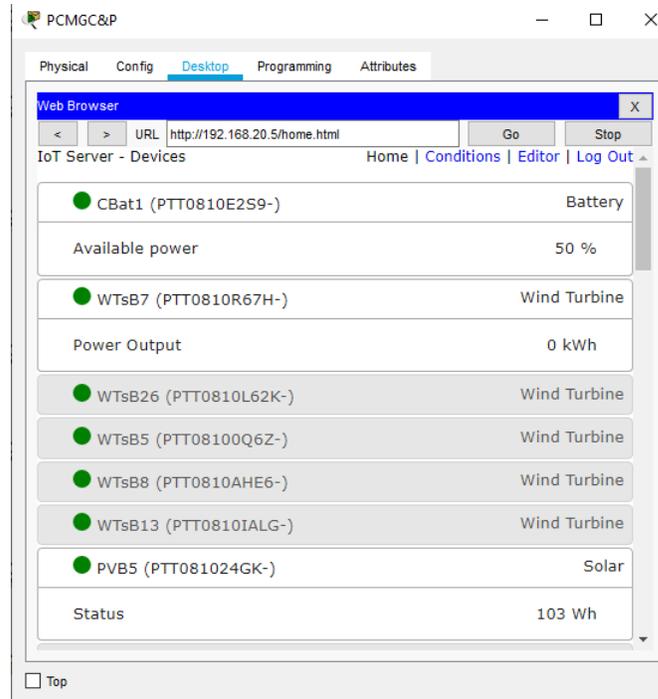


Figura 5.22: Sistema de monitorización de medida de la micro-red

---

## Capítulo 6

# Conclusiones

---

Se presentan a continuación las conclusiones obtenidas, a partir de cada uno de los análisis realizados a los 3 objetivos específicos que se desarrollaron para la propuesta de una micro-red eléctrica digital en Bogotá, Colombia, así mismo algunas consideraciones para la implementación de estas tecnologías, finalmente se proponen trabajos futuros que pueden surgir a partir del presente proyecto.

### 6.1. Conclusiones generales

Las micro-redes eléctricas son cada vez más populares en el mundo gracias a su contribución a la descentralización y ayuda al medio ambiente dada su generación renovable. Aunque en Colombia esta clase de sistemas no son usados ya que principalmente en sitios no interconectados se tienen sistemas solo con paneles solares para dar energía intermitente a la comunidad o sistemas eólicos para bombeo de agua, el presente trabajo muestra mediante simulaciones la posibilidad que tiene una micro-red de trabajar en una ciudad con suministro eléctrico, teniendo a la red como respaldo de su generación solar, eólica y almacenamiento en baterías.

Se pudo observar que en el sitio seleccionado de la ciudad de Bogotá, Colombia tiene un gran potencial para estas tecnologías dados sus recursos de viento y sol, haciendo a la micro-rede una buena opción de autoconsumo sostenible. Es importante para la reproducción de este tipo de sistemas hacer un estudio de potencial eólico y solar en el punto de interés para ver la viabilidad de la micro-red presentada.

El uso de herramientas computacionales especializadas, como Homer pro 3.14.2, son útiles para la evaluación y toma de decisiones a la hora de implementar micro-redes, dadas sus ventajas para el análisis de lugares geográficos, teniendo en cuenta sus librerías geoespaciales con información meteorológica para cálculos de viabilidad; diseño de arquitectura deseada en las micro-redes sin limitación de tecnología, permitiendo tener infinidad de configuraciones, no solo renovables sino también con tecnologías convencionales y modelos de operación efi-

cientes para obtener una generación óptima con los recursos disponibles.

Esta micro-red eléctrica de generación renovable en el conjunto residencial fue simulada de manera satisfactoria gracias al uso de la herramienta tecnológica de análisis eléctrico Etap 20.6.0 con la cual se pudo simular la posibilidad de integración eléctrica del sistema existente del conjunto residencial Dalí con la generación renovable óptima desarrollada en Homer pro con dos pruebas de producción energética con parámetros ideales y perturbados de clima para los requerimientos de consumo de los residentes y áreas comunes. De esta forma, se pudieron determinar las características y parametrización de operación de los equipos de protección idóneos para el proyecto, calibres de conductores requeridos para la integración y configuración de los sistemas AC y DC de generación y almacenamiento del conjunto.

La revolución digital ha mejorado el rendimiento, costo y operación de las subestaciones eléctricas con la implementación del estándar de comunicación IEC 61850 y su sección de SMV IEC 61850-9-2 migrándolas a subestaciones digitales. Por esto, el presente trabajo buscó replicar estos beneficios en las micro-redes con ayuda del paquete educativo para el análisis de sistemas de comunicación de CISCO, packet tracer, el cual permitió configurar el tipo de arquitectura deseada para el conjunto y mostró sus bondades ante caída o fallo de comunicación en algunos tramos sin pérdida de información y respuesta instantánea. Además de observar la respuesta en tiempo real del sistema ante diferentes tipos de mensajería, el software permitió configurar todo el sistema con DHCP teniendo oportunidad de asignar todas las IPs de la micro-red de forma automática para ahorrar tiempo de diseño.

El uso de VLANs en la red de comunicaciones también fue de gran importancia para el proyecto ya que con esto se logró segmentar exitosamente el sistema en sus 3 componentes importantes de control, protección y medida para así supervisar y controlar el tráfico de información permitiendo o denegando la entrada de los componentes a cada una de las subredes y así evitar loops de mensajería innecesarios. Aunque en el presente proyecto se trabajó con VLANs para dar un orden y correcta segmentación de la red para su trabajo y análisis, cabe resaltar que el sistema puede funcionar sin problemas al no asignar VLANs, esto dado que la cantidad de información en la micro-red no es tan grande como para producir pérdidas de paquetes (packet loss) o latencia.

## 6.2. Aportes

El presente trabajo permitió un acercamiento a las micro-redes, su diseño, uso, configuración y conexión a la red eléctrica local en Bogotá, Colombia, abriendo así la posibilidad de estudio de estos sistemas en el país, no solo en lugares no interconectados sino también en ciudades, haciendo de las redes locales el respaldo de las micro-redes. Adicionalmente se introdujo el estándar de comunicaciones IEC 61850 para la automatización y digitalización

de estos sistemas aplicando las secciones de SMV y GOOSE para su protección y control. Por otra parte, se dieron a conocer las configuraciones más utilizadas en comunicaciones para las subestaciones eléctricas y una forma de emplearlas en las micro-redes permitiendo así una investigación a sus posibles variaciones o modificaciones para un mayor beneficio. Adicionalmente se realizó la explicación y uso de VLANs para la red de subestaciones y una forma de aplicación para las micro-redes.

En el entorno académico el presente trabajo puede orientar a las personas en el uso de herramientas tecnológicas como Homer pro para el diseño de micro-redes, analizando su ubicación, configuración y producción óptima. El uso de Etap para el análisis eléctrico de estos sistemas integrados a redes existentes, probar la viabilidad, determinar los equipos de control, protección y transmisión idóneos en proyectos de este tipo. Por último, se introdujo el software académico packet tracer de CISCO para el diseño, programación y análisis de sistemas de comunicaciones no solo en micro-redes sino cualquier sistema que requiera digitalización, este permite crear, programar y analizar diferentes tipos de mensajería que se puedan requerir en redes de comunicación.

### 6.3. Trabajos futuros

Un desarrollo más profundo en el control de las micro-redes podría aplicar estándares como el de la IEEE Std 2030.8-2018 para la evaluación del sistema de control de la micro-red. Se podría además realizar un análisis de la posible adaptación a micro-redes con generación distribuida del estándar de control y parametrización de variables para el intercambio de información prioritaria propuesta en el estándar IEC 61400-25 para parques eólicos.

Un desarrollo más profundo en arquitecturas de comunicaciones para las micro-redes podría aplicar adicionalmente a las secciones GOOSE y SMV vistos en el presente trabajo la sección 7-420 de nodos lógicos para la parametrización y gestión del sistema y una comparación del trabajo de estos estándares en micro-redes en modo isla y conectadas a red.

Futuros trabajos pueden orientarse a evaluar desde el punto de vista financiero la viabilidad de micro-redes en ciudades con conexión a la red eléctrica local, analizando las posibles configuraciones de éstas para obtener un sistema óptimo desde el punto de vista financiero, aplicando modelos programados en Homer pro u otro software enfocado en el análisis de sistemas óptimos.

Es posible trabajar en la operación y reglamentación de estos sistemas para así poder tener intercambio de energía entre la micro-red y red local, entre varias micro-redes y un análisis de operación óptima en estas transacciones, analizando cantidades de energía vendida a la red o micro-redes cercanas con las que se desee negociar.

Dado que la digitalización de los sistemas eléctricos está creciendo cada vez más, futuros

trabajos pueden enfocarse en arquitecturas diferentes a la que se empleó en este trabajo para realizar una comparación y posibles modificaciones o variaciones que permitan un mejor tráfico de datos, más ágil y óptimo. Adicionalmente se puede trabajar en la modificación de VLANs propuestos en el presente trabajo para encontrar una mejor repartición de información en las redes de comunicación.

El mundo está atravesando por una revolución digital, ya que hoy en día podemos digitalizar casi cualquier información para poder transmitirla, tratarla y analizarla en cualquier parte del mundo en tiempos de milésimas de segundo. Los últimos desarrollos de la revolución digital han sido en IoT por sus siglas en inglés (Internet of Things) la cual está logrando no solo transmitir información sino también comandos y órdenes ya sea para la automatización de una casa inteligente, una red de semáforos o una fábrica inteligente. Es por esto por lo que este trabajo puede tomarse como base para la introducción de las micro-redes al IoT para analizar sus posibilidades, ventajas y puntos a mejorar para poder aplicar esta tecnología en estos sistemas de generación eléctrica.

La introducción del software educativo de CISCO, packet tracer, abre la oportunidad al estudio de diferentes configuraciones de comunicaciones no solo para micro-redes sino para cualquier sistema eléctrico que se desee digitalizar aplicando las configuraciones HSR, PRP, RSTP o una posible derivación de estos para analizar la tasa de transferencia o throughput para ver la cantidad de datos sin sobrecarga que puede transmitir en la red establecida.

# Referencias

---

- [1] Orkestra, Instituto Vasco de competitividad. (2020). CASOS DE MICRORREDES núm. 73/2020. Fundación Deusto.[https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/200028\\_Casos\\_Microrredes.pdf?v](https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/200028_Casos_Microrredes.pdf?v)
- [2] Mao, M. & Chang, L. (2014). Application of IEC61850 in Energy Management System for Microgrids. IEEE.
- [3] electric, S. (15 de 10 de 2021). Schneider electric. Obtenido de Norma IEC 61850 interoperabilidad para protección avanzada y aplicaciones de control: <https://www.se.com/co/es/product-range/60793-norma-iec-61850>
- [4] SIEMENS. (05 de 10 de 2021). SIEMENS AG. Obtenido de Go beyond...IEC 61850: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid.html>
- [5] IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers, in IEEE Std 2030.7-2017 , vol., no., pp.1-43, 23 April 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8340204.
- [6] M. R. Dadash Zadeh, A. Mazloomzadeh, H. Ghaffarzadeh and H. Castro, "Model-Driven Microgrid Controller," 2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference - Living the energy Transition (FISE/CIGRE), Medellin, Colombia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984972.
- [7] L. Zhan, D. Ma, X. Zhou and X. Pan, "Modeling of adaptive integrated hybrid AC/DC microgrid module in IEC 61850," 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Cincinnati, OH, USA, 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/IAS.2017.8101681.
- [8] Ustun, T. S., Ozansoy , C., & Zayegh, A. (2012). Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420. Melbourne: IEEE.

- [9] Unidad de planeamiento Mineroenergetico. (21 de 09 de 2021). Colombia. UPME : Solicitudes de Autogeneración y Generación distribuida: <https://public.tableau.com/app/profile/upme/viz/AutogeneracionyGeneracionDistribuida2021/Historia1>
- [10] Rocheleau, R. (2015). Hawaiian Islands Energy Systems. Transitioning to Renewable Energy. Isolated Power Systems, Connect 2015. Recuperado de [https://www.utas.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/778617/IPS-Connect-2015-Richard-Rocheleau.pdf](https://www.utas.edu.au/__data/assets/pdf_file/0009/778617/IPS-Connect-2015-Richard-Rocheleau.pdf)
- [11] Panasonic. (2017c, septiembre 22). Launch of Japan's First Microgrid System with a Total of 117 Homes. Panasonic Newsroom Global. Recuperado de <https://news.panasonic.com/global/topics/2017/50883.html>
- [12] Japan Products. (2017, octubre 5). PanaHome Start Japan's First Microgrid System with a Total of 117 Homes in Ashiya City, Hyogo Prefecture. Japan Products. Recuperado de <http://japan-product.com/panahome-microgrid-system/>
- [13] ENEL. (06 de 10 de 2021). ENEL X. Obtenido de Microrredes, el momento para esta tecnología: <https://corporate.enelx.com/es/stories/2020/11/microgrid-energy-systems-develop>
- [14] ABB SACE división. (2013). Technical Application Papers No13 Wind power plants. Bergamo: ABB S.p.A.
- [15] Gimeno, F. J., & Alfonso, J. C. (2019). Curso Energía Eólica[M3]. Valencia: Universidad politecnica de Valencia.
- [16] Gimeno, F. J., & Alfonso, J. C. (2020). Curso Energía fotovoltaica[M1]. Valencia: Universidad politecnica de Valencia.
- [17] Bansal Ramesh. (2017). Handbook of distributed Generation. Pretoria: Springer.
- [18] Claveria, Joevis & Kalam, Akhtar. (2018). GOOSE Protocol: IED's Smart Solution for Victoria University Zone Substation (VUZS) Simulator Based on IEC61850 Standard. 730-735. 10.1109 APPEEC.2018.8566413.
- [19] International Electrotechnical Commission. (2007). High-voltage switchgear and control-gear - Part 1: Common specifications IEC 62271-1. IEC.
- [20] Axon Group. (21 de 10 de 2021). Axon Grupo. IEC 61850: TODO LO QUE NECESITAS SABER DE GOOSE: [https://axongroup.com.co/iec-61850/iec61850\\_goose/](https://axongroup.com.co/iec-61850/iec61850_goose/)

- [21] A.C. Adewole & R. Tzoneva. (2014). Impact of IEC 61850-9-2 Standard-Based Process Bus on the Operating Performance of Protection IEDS: Comparative Study. IFAC Proceedings Volumes, 47(3), 2245-2252
- [22] JORGE SAAD ingeniería eléctrica (2008). Plano diagrama unifilar y armarios de medida. Proyecto Conjunto residencial LA SIRENA. Bogotá, Colombia.
- [23] Hernández Hernández, K. A. & Carrillo Cruz, J. S. (NaN). Análisis de la Curva de Demanda Eléctrica para Usuarios Residenciales Estrato 4 en la Ciudad de Bogotá Ante Diferentes Escenarios de los Hábitos de Consumo. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/5838>.
- [24] Secretaría distrital de planeación. (05 de 03 de 2022). Secretaría distrital de planeación. Estratificación socioeconómica: <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad>
- [25] BID, Banco interamericano de desarrollo. (2019). Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina NOTA TÉCNICA N° IBD-TN-01831. EE. UU.: BID.
- [26] Zurita, A. F. ., & Rodríguez, G. G. . (2014). Arquitecturas de red LAN para la automatización de subestaciones, basadas en la norma IEC 61850 (RSTP, PRP y HSR). Revista Técnica & quot;energía & Quot;, 10(1), 133–141 pp. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v10.n1.2014.108>



# Anexos

---

Anexos A

# Óptimo de generación de una micro-red eléctrica

---

EL siguiente anexo es el modelo óptimo de una micro-red en la localización del caso de estudio, la micro-red fue simulada para que use la red como respaldo ante la falta de energía de la misma sin opción de comercialización de excedentes con la red.



## System Simulation Report



**File:** Tesis Oe1 sin venta.homer

**Author:** Sebastian Enrique Rodriguez Osorio

**Location:** Cl. 160 #58 - 75, Bogotá, Cundinamarca, Colombia (4°44.5'N, 74°3.7'W)

**Total Net Present Cost:** \$364,556.20

**Levelized Cost of Energy (\$/kWh):** \$0.411

**Notes:** Elaboración de un modelo óptimo de generación de una micro-red eléctrica con generación renovable (energía eólica y solar fotovoltaica), almacenamiento en baterías e interconectada a la red eléctrica

### Sensitivity variable values for this simulation

Variable	Value	Unit
Diesel Fuel Price	0.500	\$/L
Wind Scaled Average	3.00	m/s



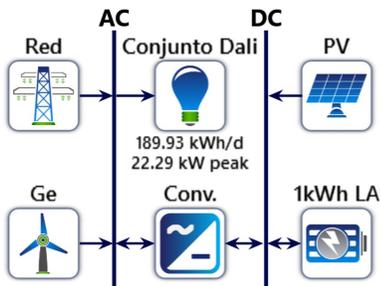
**Table of Contents**

System Architecture	3
Electrical Summary	4
PV: Paneles solares	5
Wind Turbine: Aerogenerador 1 kW	6
Storage: Batertías 1kWh Lead Acid	7
Grid: Red Codensa	8
Renewable Summary	10
Cost Summary	11

## System Architecture

Component	Name	Size	Unit
<b>PV</b>	Paneles solares	123	kW
<b>Storage</b>	Batertías 1kWh Lead Acid	1	strings
<b>Wind turbine</b>	Aerogenerador 1 kW	127	ea.
<b>System converter</b>	Conversor	13.4	kW
<b>Grid</b>	Red Codensa	999,999	kW
<b>Dispatch strategy</b>	HOMER Cycle Charging		

## Schematic





## Electrical Summary

### Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	161,834	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

### Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Paneles solares	172,961	74.5
Aerogenerador 1 kW	24,604	10.6
Grid Purchases	34,661	14.9
Total	232,227	100

### Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	69,324	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	69,324	100

## PV: Paneles solares

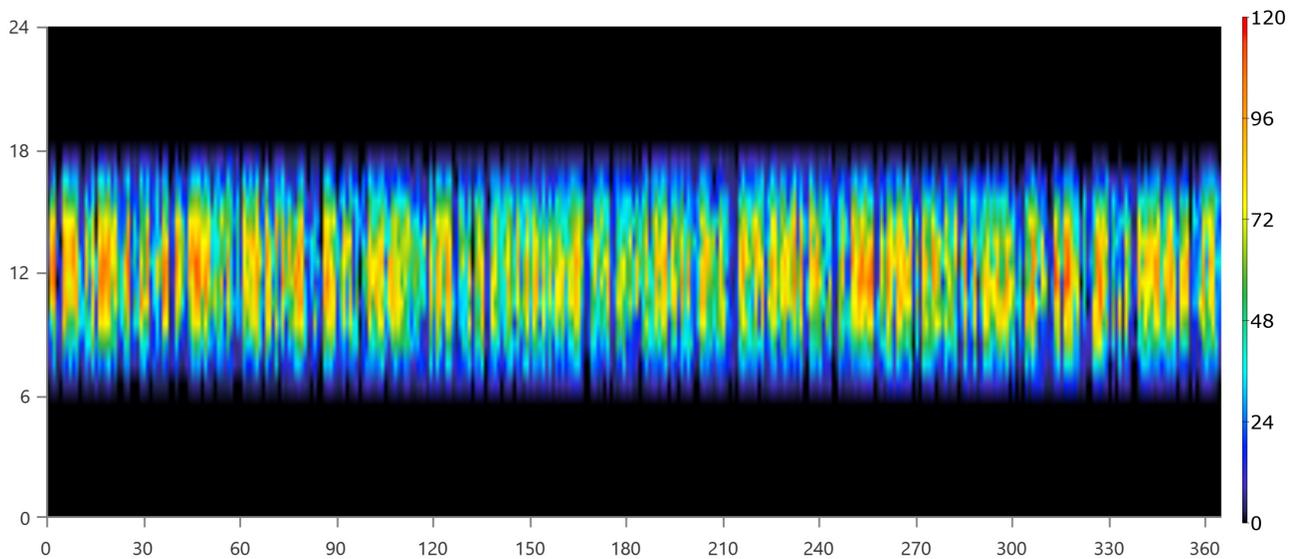
### Paneles solares Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	117	kW
PV Penetration	249	%
Hours of Operation	4,380	hrs/yr
Levelized Cost	0.0515	\$/kWh

### Paneles solares Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	123	kW
Mean Output	19.7	kW
Mean Output	474	kWh/d
Capacity Factor	16.1	%
Total Production	172,961	kWh/yr

### Paneles solares Output (kW)



## Wind Turbine: Aerogenerator 1 kW

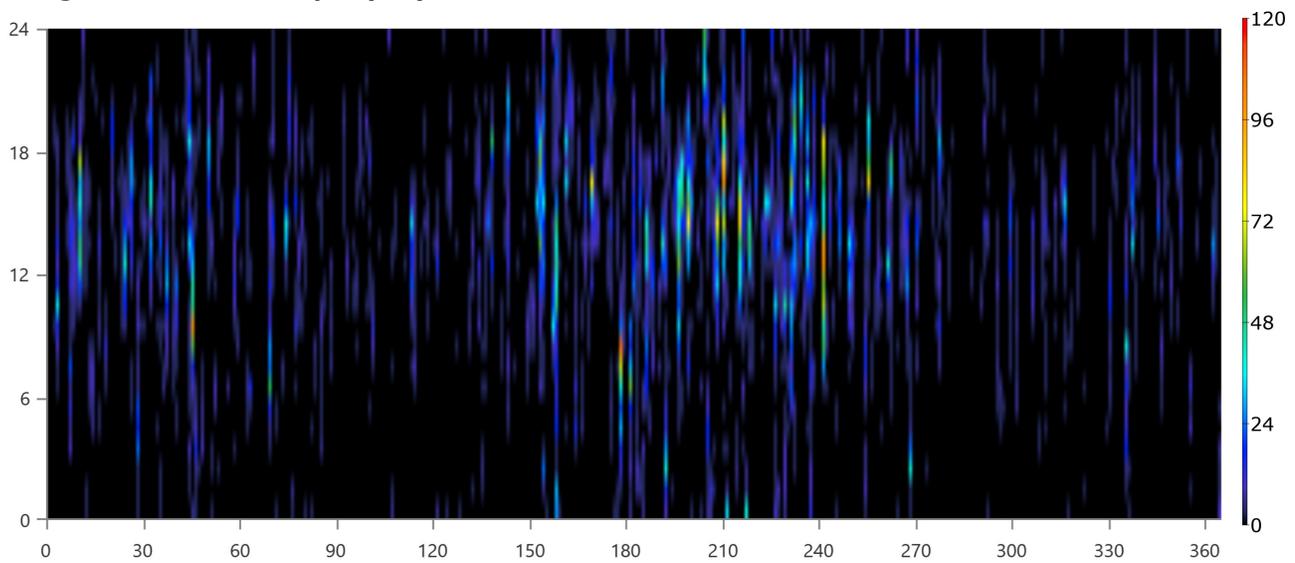
### Aerogenerator 1 kW Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	113	kW
Wind Penetration	35.5	%
Hours of Operation	4,178	hrs/yr
Levelized Cost	0.562	\$/kWh

### Aerogenerator 1 kW Statistics

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	127	kW
Mean Output	2.81	kW
Capacity Factor	2.21	%
Total Production	24,604	kWh/yr

### Aerogenerator 1 kW Output (kW)



## Storage: Batertías 1kWh Lead Acid

### Batertías 1kWh Lead Acid Properties

Quantity	Value	Units
Batteries	1.00	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	1.00	strings
Bus Voltage	12.0	V

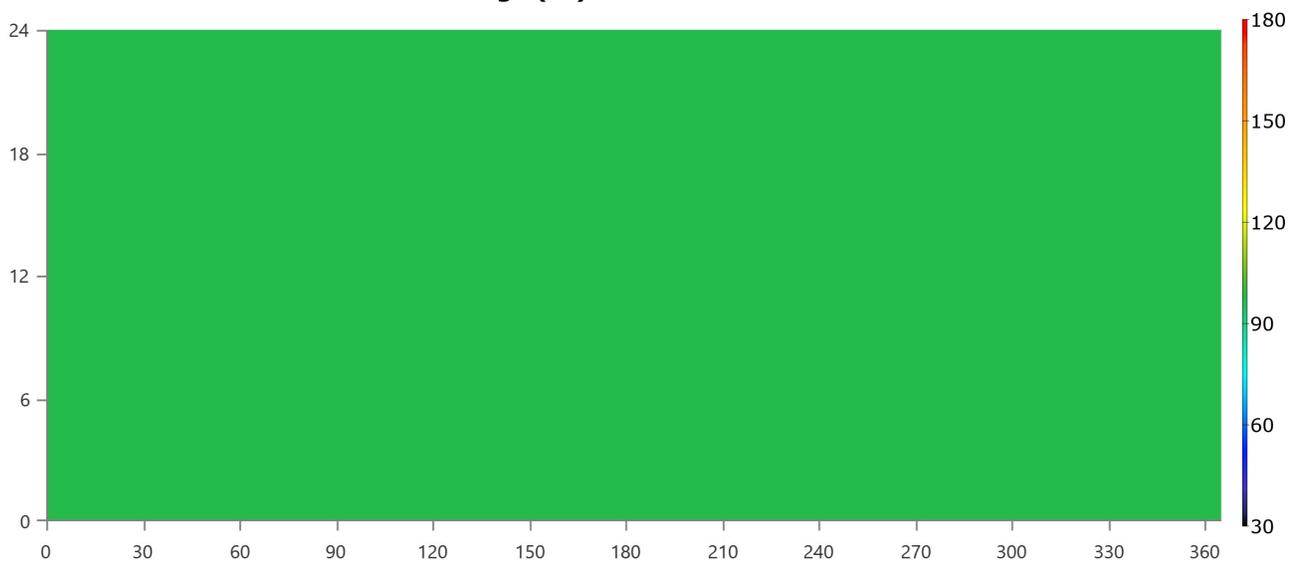
### Batertías 1kWh Lead Acid Result Data

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	\$/kWh
Energy In	0	kWh/yr
Energy Out	0	kWh/yr
Storage Depletion	0	kWh/yr
Losses	0	kWh/yr
Annual Throughput	0	kWh/yr

### Batertías 1kWh Lead Acid Statistics

Quantity	Value	Units
Autonomy	0.101	hr
Storage Wear Cost	1.34	\$/kWh
Nominal Capacity	1.00	kWh
Usable Nominal Capacity	0.801	kWh
Lifetime Throughput	0	kWh
Expected Life	10.0	yr

### Batertías 1kWh Lead Acid State of Charge (%)





**Grid: Red Codensa**

**Grid rate: Demand 1**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	22.2	\$0.00	\$0.00
February	0	0	0	17.0	\$0.00	\$0.00
March	0	0	0	18.8	\$0.00	\$0.00
April	0	0	0	22.3	\$0.00	\$0.00
May	0	0	0	20.7	\$0.00	\$0.00
June	0	0	0	18.8	\$0.00	\$0.00
July	0	0	0	19.8	\$0.00	\$0.00
August	0	0	0	18.5	\$0.00	\$0.00
September	0	0	0	19.2	\$0.00	\$0.00
October	0	0	0	18.5	\$0.00	\$0.00
November	0	0	0	20.1	\$0.00	\$0.00
December	0	0	0	19.9	\$0.00	\$0.00
Annual	0	0	0	22.3	\$0.00	\$0.00

**Grid rate: Rate 1**

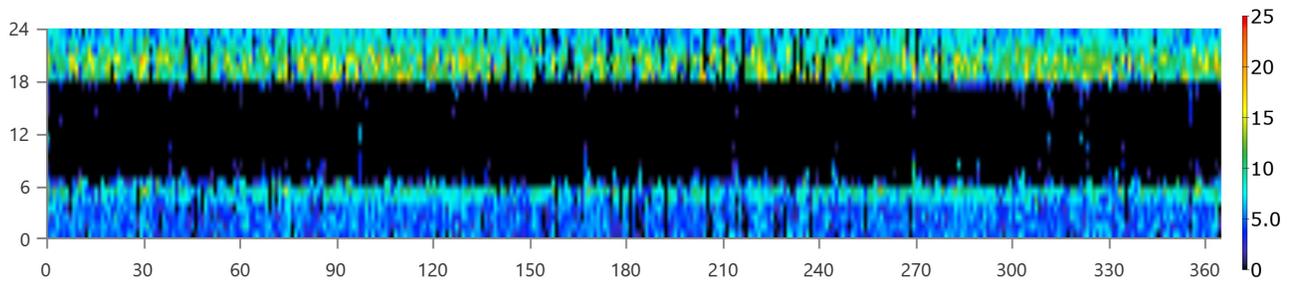
Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	3,056	0	3,056	0	\$458.47	\$0.00
February	2,469	0	2,469	0	\$370.29	\$0.00
March	3,121	0	3,121	0	\$468.20	\$0.00
April	3,176	0	3,176	0	\$476.47	\$0.00
May	2,987	0	2,987	0	\$448.05	\$0.00
June	2,546	0	2,546	0	\$381.84	\$0.00
July	2,506	0	2,506	0	\$375.88	\$0.00
August	2,644	0	2,644	0	\$396.60	\$0.00
September	2,863	0	2,863	0	\$429.42	\$0.00
October	3,123	0	3,123	0	\$468.49	\$0.00
November	3,116	0	3,116	0	\$467.42	\$0.00
December	3,054	0	3,054	0	\$458.09	\$0.00
Annual	34,661	0	34,661	0	\$5,199	\$0.00

**Grid rate: All**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	3,056	0	3,056	22.2	\$458.47	\$0.00
February	2,469	0	2,469	17.0	\$370.29	\$0.00
March	3,121	0	3,121	18.8	\$468.20	\$0.00
April	3,176	0	3,176	22.3	\$476.47	\$0.00
May	2,987	0	2,987	20.7	\$448.05	\$0.00
June	2,546	0	2,546	18.8	\$381.84	\$0.00
July	2,506	0	2,506	19.8	\$375.88	\$0.00
August	2,644	0	2,644	18.5	\$396.60	\$0.00
September	2,863	0	2,863	19.2	\$429.42	\$0.00
October	3,123	0	3,123	18.5	\$468.49	\$0.00
November	3,116	0	3,116	20.1	\$467.42	\$0.00
December	3,054	0	3,054	19.9	\$458.09	\$0.00
Annual	34,661	0	34,661	22.3	\$5,199	\$0.00



**Energy Purchased From Grid (kW)**

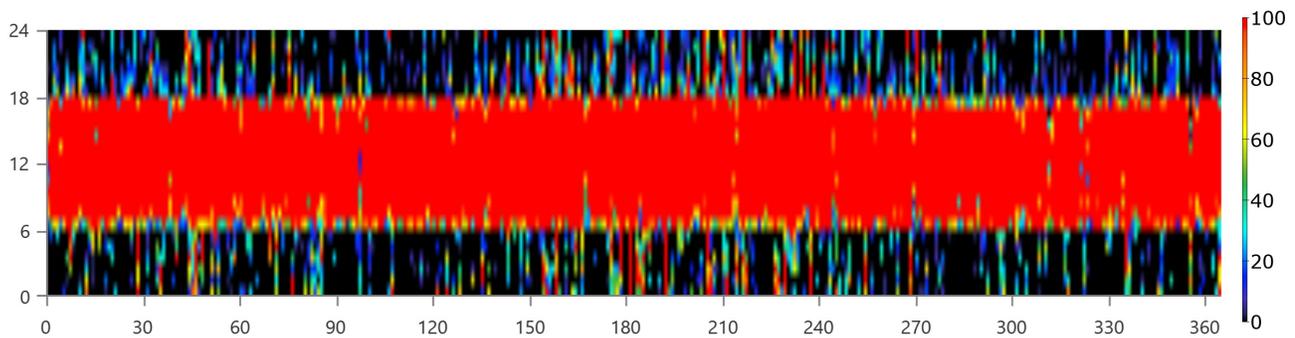


**Energy Sold To Grid (kW)**

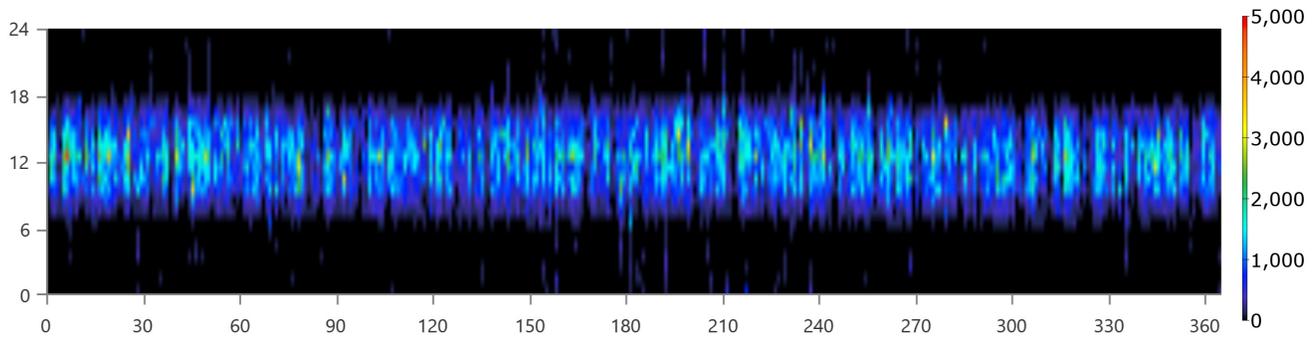
## Renewable Summary

Capacity-based metrics		
	Value	Unit
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	100	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	100	%
Energy-based metrics		
	Value	Unit
Total renewable production divided by load	285	%
Total renewable production divided by generation	85.1	%
One minus total nonrenewable production divided by load	100	%
Peak values		
	Value	Unit
Renewable output divided by load (HOMER standard)	4,977	%
Renewable output divided by total generation	100	%
One minus nonrenewable output divided by total load	100	%

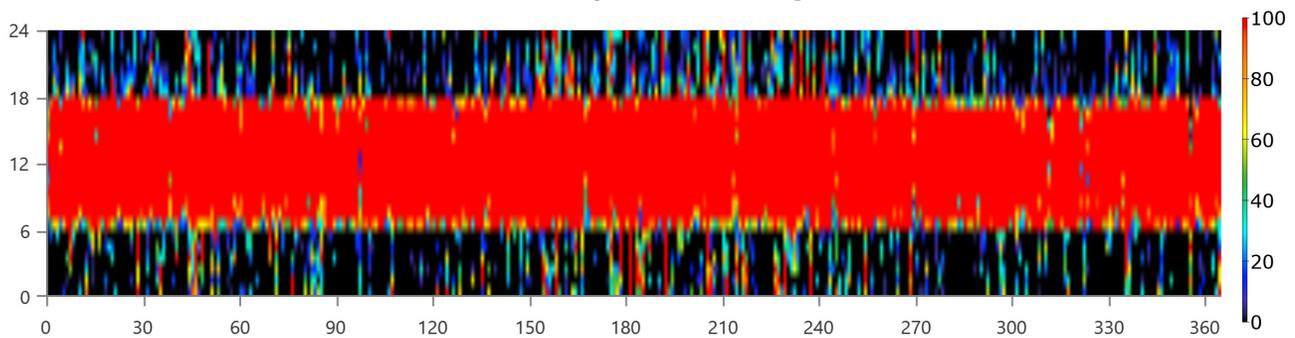
### Instantaneous Renewable Output Percentage of Total Generation



### Instantaneous Renewable Output Percentage of Total Load

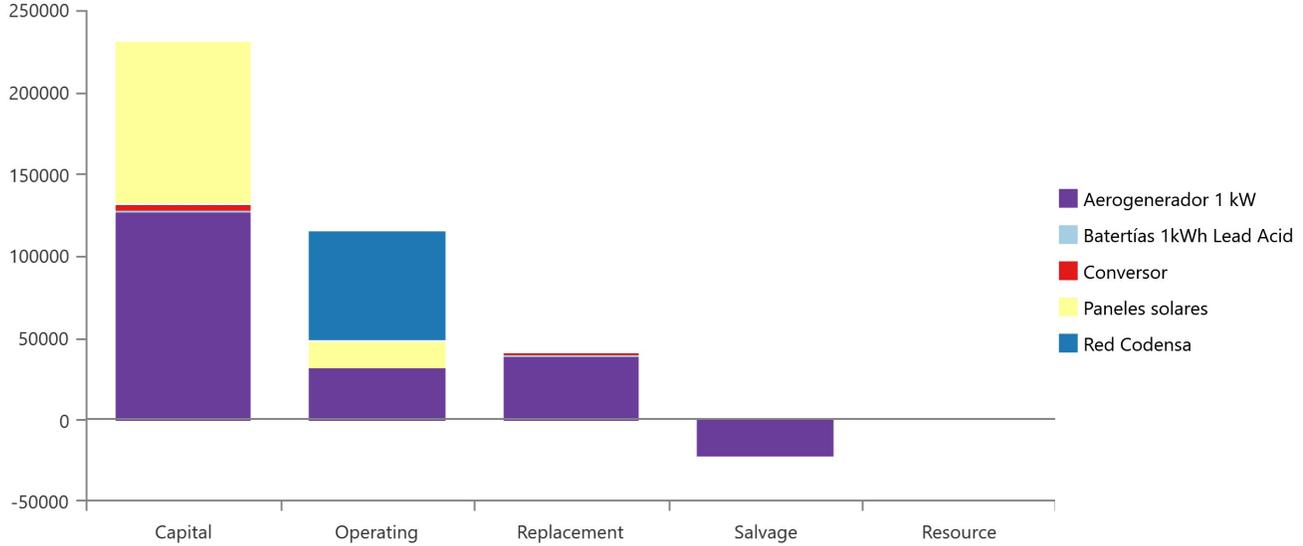


### 100% Minus Instantaneous Nonrenewable Output as Percentage of Total Load





### Cost Summary



### Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
<b>Aerogenerador 1 kW</b>	\$127,000	\$32,470	\$39,599	-\$22,193	\$0.00	\$176,876
<b>Baterías 1kWh Lead Acid</b>	\$1,200	\$127.83	\$835.39	-\$111.84	\$0.00	\$2,051
<b>Conversor</b>	\$4,025	\$0.00	\$1,679	-\$312.59	\$0.00	\$5,392
<b>Paneles solares</b>	\$98,099	\$15,675	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$113,774
<b>Red Codensa</b>	\$0.00	\$66,463	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$66,463
<b>System</b>	\$230,324	\$114,736	\$42,114	-\$22,618	\$0.00	\$364,556

### Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
<b>Aerogenerador 1 kW</b>	\$9,935	\$2,540	\$3,098	-\$1,736	\$0.00	\$13,836
<b>Baterías 1kWh Lead Acid</b>	\$93.87	\$10.00	\$65.35	-\$8.75	\$0.00	\$160.47
<b>Conversor</b>	\$314.85	\$0.00	\$131.38	-\$24.45	\$0.00	\$421.77
<b>Paneles solares</b>	\$7,674	\$1,226	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$8,900
<b>Red Codensa</b>	\$0.00	\$5,199	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$5,199
<b>System</b>	\$18,017	\$8,975	\$3,294	-\$1,769	\$0.00	\$28,518

---

Anexos B

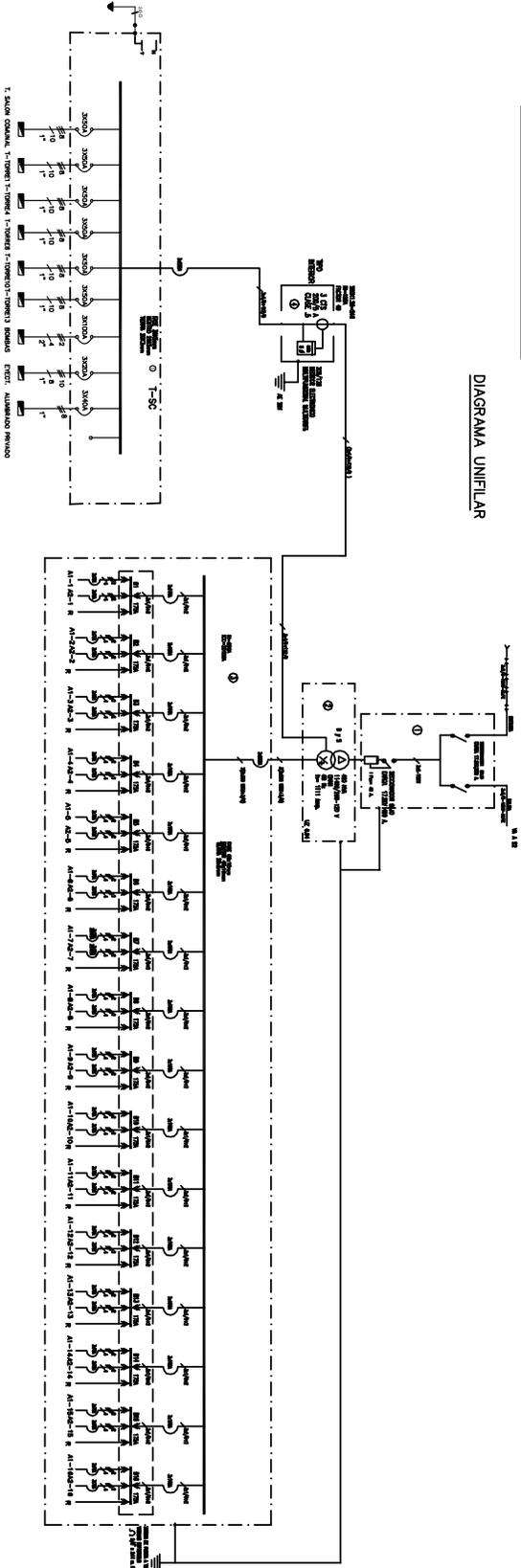
# Diagrama unifilar existente conjunto residencial Dalí

---

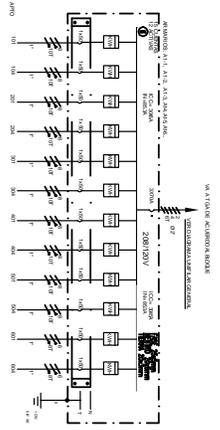
El siguiente anexo es el diagrama unifilar del sistema eléctrico existente del conjunto residencial Dalí [22].

- LISTADO DE EQUIPOS
- 1 CELDA TRIPLEX
  - 2 BATERIA PARA TRANSFORMADOR DE 400 KVA
  - 3 BATERIA GENERAL
  - 4 BATERIA PARA SERVICIO S.C.
  - 5 TABLERO SERVICIO COMUNI
  - 6 ARMARIOS DE MEDIDORES

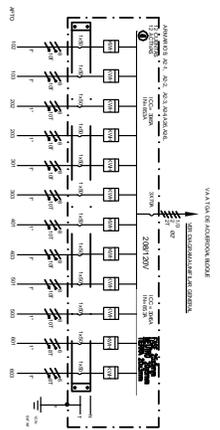
DIAGRAMA UNIFILAR



ARMARIO TIPO GENERAL DE MEDIDORES No.1



ARMARIO TIPO GENERAL DE MEDIDORES No.2



PROYECTADO	COMISIONADO	EXISTENTE
01	01	01
02	02	02
03	03	03
04	04	04
05	05	05
06	06	06
07	07	07
08	08	08
09	09	09
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30
31	31	31
32	32	32
33	33	33
34	34	34
35	35	35
36	36	36
37	37	37
38	38	38
39	39	39
40	40	40
41	41	41
42	42	42
43	43	43
44	44	44
45	45	45
46	46	46
47	47	47
48	48	48
49	49	49
50	50	50
51	51	51
52	52	52
53	53	53
54	54	54
55	55	55
56	56	56
57	57	57
58	58	58
59	59	59
60	60	60
61	61	61
62	62	62
63	63	63
64	64	64
65	65	65
66	66	66
67	67	67
68	68	68
69	69	69
70	70	70
71	71	71
72	72	72
73	73	73
74	74	74
75	75	75
76	76	76
77	77	77
78	78	78
79	79	79
80	80	80
81	81	81
82	82	82
83	83	83
84	84	84
85	85	85
86	86	86
87	87	87
88	88	88
89	89	89
90	90	90
91	91	91
92	92	92
93	93	93
94	94	94
95	95	95
96	96	96
97	97	97
98	98	98
99	99	99
100	100	100



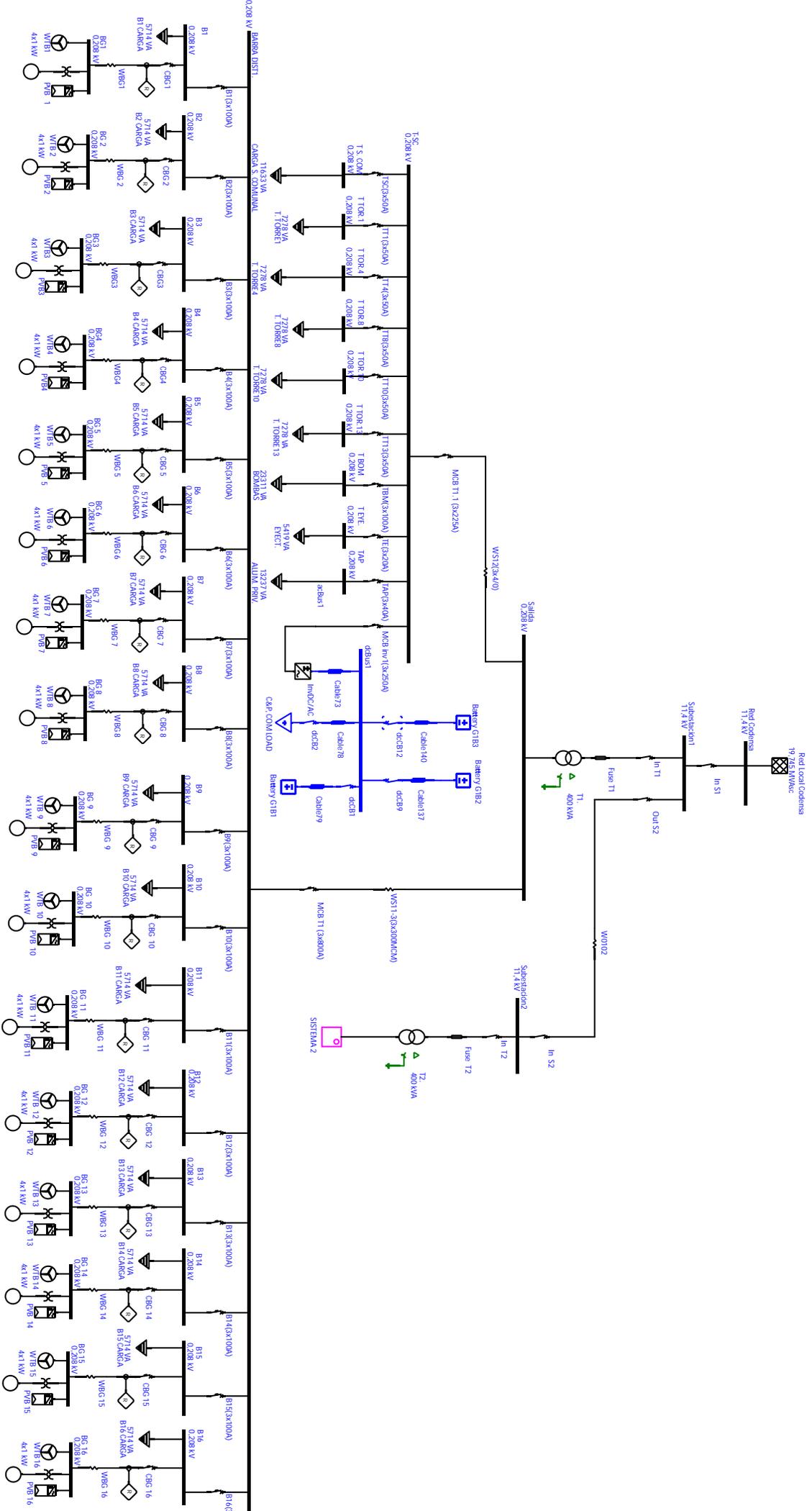
---

Anexos C

# Diagrama unifilar micro-red conjunto residencial Dalí

---

El siguiente anexo es el diagrama unifilar del sistema eléctrico de la micro-red en el conjunto residencial Dalí.



---

Anexos D

# **Informe sistema eléctrico micro-red caso de estudio ideal**

---

El siguiente anexo es el informe del sistema eléctrico existente del conjunto residencial Dalí integrado al sistema de generación renovable y sistema de baterías.



# Time Domain Load Flow Report

ETAP Version  
20.6.0C

Project:		System Frequency:	60
Location:		Unit System:	Metric
Contract:		Standard:	ANSI
Engineer:		Revision:	Base
Project Filename:	TesisOe2	Configuration:	Normal
Date:	29-08-2022	Study Case:	normal
Serial Number:			
Output Filename:	C:\ETAP 2060\TesisOe2prueba\TDLF designe.TU1S		

## Time Domain Load Flow Analysis

Study case ID	normal		
Maximum No. of Iteration	9999		
Precision of Solution	1E-04		
Halt on Non-Convergence	No		
Halt on Equipment Overload	No		
AC & DC Simultaneous Solution	Yes		
Loading Category	Normal		
Generation Category	Normal		
DC Loading Category	Normal		
Charger Loading	Uniform		
Load Diversity Factor	None		
Constant P	Constant Z	Constant I	Generic
100	100	100	100

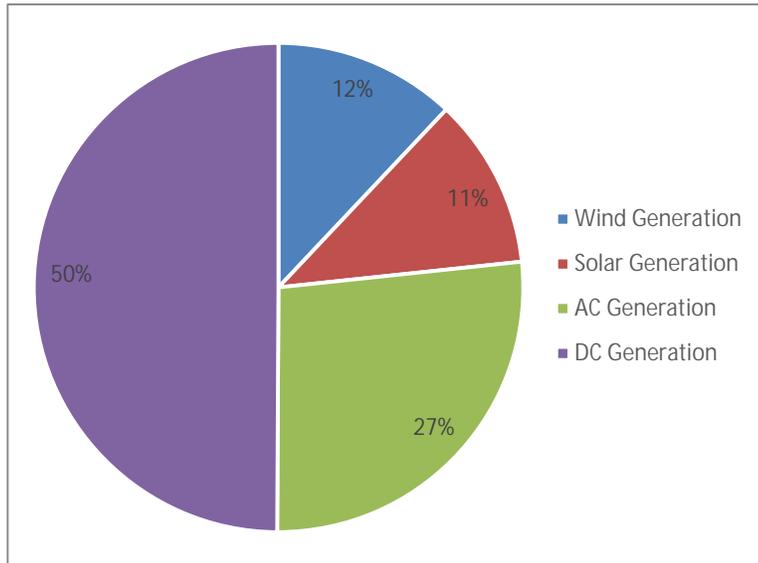
Simulation Start time	7-25-2022	17:0:0	
Simulation End time	7-26-2022	20:0:0	
Simulation Step	1,00	Hour	
Total Simulation Counts	28		
External Data	No	Battery Model	Rated Voc & R
Wind External Data	PQ Data	SOC Category	
PV External Data	PQ Data	SOC (%)	
Annual Load Growth Factor	0,00%		

Apply Neg. Tolerance and Min. Temp. Correction	No		
Tolerance	Apply Adjustments	Tolerance	Percentage
Transformer Impedance	Yes	Individual	0,00
Reactor Impedance	Yes	Individual	0,00
Overload Heater Resistance	No	Individual	0,00
Transmission Line Length	No	Individual	0,00
Cable Length	No	Individual	0,00
Temperature Correction	Apply Adjustments	Correction	Degree C
Transmission Line Resistance	Yes	Individual	75
Cable Resistance	Yes	Individual	75

Number of Calculation	24	
Non-Converged Calculation	0	
Unsolved by Halting Calculation	0	
Calculation Start Time	08-29-2022	23:45:02
Calculation End Time	08-29-2022	23:45:06

# Time Domain Load Flow System Summary

Total Energy	MWh
Wind Generation	0,9812173
Solar Generation	0,9227923
AC Generation	2,1881453
DC Generation	4,076853
System Generation	8,1690078
AC Demand	5,9370957
DC Demand	0,0791957
System Demand	6,0162915
Total Energy Loss	2,1527164



Maximum Power	kW	Date	Time
Wind Generation	48,1	07-25-2022	21:00:00
Solar Generation	106,8	07-26-2022	12:00:00
AC Generation	119,6	07-26-2022	12:00:00
DC Generation	220,5	07-25-2022	19:00:00
AC Demand	321,9	07-25-2022	18:00:00
DC Demand	3,0	07-26-2022	12:00:00

Maximum Voltage	Bus ID	% Voltage	Date	Time
Phase A	BG 17	100,37	07-26-2022	13:00:00
Phase B	BG 17	100,37	07-26-2022	13:00:00
Phase C	BG 17	100,37	07-26-2022	13:00:00
Minimum Voltage	Bus ID	% Voltage	Date	Time
Phase A	B 17	100,00	07-25-2022	19:00:00
Phase B	B 17	100,00	07-25-2022	19:00:00
Phase C	Red Codensa	100,00	07-25-2022	19:00:00

Load Factor 69,6%

## Time Domain Load Flow Results

Date	Time	Source kW	Source kvar	Wind kW	Solar kW	DC Source kW	AC Load kW	AC Load kvar	DC Load kW	Losses kW
07-25-2022	17:00:00	91,2	40,5	40,7	0,0	190,6	267,53479	3,6	2,9	11,5
07-25-2022	18:00:00	118,8	48,1	41,1	0,0	219,5	321,85356	3,6	2,8	13,6
07-25-2022	19:00:00	104,1	13,1	41,4	0,0	220,5	308,261	3,6	2,8	13,5
07-25-2022	20:00:00	101,1	10,4	45,0	0,0	194,8	281,08292	3,6	2,9	11,9
07-25-2022	21:00:00	93,3	6,6	48,1	0,0	184,4	263,51758	3,6	2,9	11,2
07-25-2022	22:00:00	82,7	5,4	44,6	0,0	176,8	245,88409	3,6	2,9	10,7
07-25-2022	23:00:00	70,2	0,4	47,7	0,0	161,8	219,38454	3,6	2,9	9,7
07-26-2022	00:00:00	52,5	2,5	33,6	0,0	148,5	189,21628	23,2	2,9	8,9
07-26-2022	01:00:00	41,4	-0,5	33,4	0,0	145,1	174,96869	3,6	2,9	8,7
07-26-2022	02:00:00	37,7	-1,5	33,4	0,0	149,0	174,93352	3,6	2,9	8,9
07-26-2022	03:00:00	36,9	-1,9	33,7	0,0	132,8	158,9668	3,6	3,0	7,8
07-26-2022	04:00:00	33,8	-2,3	32,8	0,0	138,1	160,71165	3,6	3,0	8,2
07-26-2022	05:00:00	31,0	-1,9	30,5	0,0	159,8	178,3939	3,6	2,9	9,5
07-26-2022	06:00:00	40,1	0,7	30,3	0,0	170,5	197,63189	3,6	2,9	10,1
07-26-2022	07:00:00	68,1	-2,2	30,1	38,8	155,5	211,31133	3,6	2,9	9,3
07-26-2022	08:00:00	88,5	-2,7	29,6	62,3	133,4	210,77225	3,6	3,0	8,2
07-26-2022	09:00:00	101,3	-3,2	27,4	80,8	129,5	219,7433	3,6	3,0	8,0
07-26-2022	10:00:00	111,1	-4,7	26,0	98,3	123,0	223,3851	3,6	3,0	7,8
07-26-2022	11:00:00	115,5	-4,7	25,1	104,3	122,2	226,97025	3,6	3,0	7,8
07-26-2022	12:00:00	119,6	-6,6	30,0	106,8	112,3	221,68012	3,6	3,0	7,3
07-26-2022	13:00:00	113,5	-9,1	36,3	98,3	116,8	219,85663	3,6	3,0	7,5
07-26-2022	14:00:00	104,2	-9,8	39,1	86,2	124,7	217,99675	3,6	3,0	7,9
07-26-2022	15:00:00	93,8	-8,1	39,8	68,2	116,6	200,17205	3,6	3,0	7,3
07-26-2022	16:00:00	84,4	-4,4	40,4	44,6	137,7	210,71668	3,6	3,0	8,4

## Worst Cases Device Loading Report

Device Information				% Maximum Loading Occurance				
Device ID	Type	Rating	Unit	A	B	C	Date	Time
WS11-3(3x300MCM)	Cable	1609,1	Amp	12,4	12,4	12,4	07-25-2022	18:00:00
WS12(3x4/0)	Cable	258,9	Amp	39,0	39,0	39,0	07-25-2022	18:00:00
T1.	Two-winding Transformer	289,5	kVA	13,4	0,0	0,0	07-25-2022	18:00:00
T2.	Two-winding Transformer	289,5	kVA	13,4	0,0	0,0	07-25-2022	18:00:00

## Worst Cases Bus Phase Voltage Report

Device Information			Maximum Voltage Occurance				Minimum Voltage Occurance			
ID	Nominal kV	Type	Phase	% Voltage	Date	Time	Phase	% Voltage	Date	Time
acBus1	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
acBus3	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
B1	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B2	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B3	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B4	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B5	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B6	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B7	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B8	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B9	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B10	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B11	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B12	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B13	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B14	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B15	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B16	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 17	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 18	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 19	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 20	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 21	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 22	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 23	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 24	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 25	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 26	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 27	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 28	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 29	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 30	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 31	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
B 32	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00

BARRA DIST1.	0,21	LN	A	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
BARRA DIST1.2	0,21	LN	B	100,04%	07-26-2022	13:00:00	A	99,60%	07-25-2022	19:00:00
BG1	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 2	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG3	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG4	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 5	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 6	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 7	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 8	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 9	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 10	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 11	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 12	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 13	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 14	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 15	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 16	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 17	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 18	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 19	0,21	LN	A	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 20	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 21	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 22	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 23	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 24	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 25	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 26	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 27	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 28	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG29	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG30	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG31	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
BG 32	0,21	LN	B	100,37%	07-26-2022	13:00:00	A	99,70%	07-25-2022	19:00:00
Red Codensa	11,40	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
Salida	0,21	LN	B	100,03%	07-26-2022	13:00:00	A	99,69%	07-25-2022	19:00:00
Salida2	0,21	LN	A	100,03%	07-26-2022	13:00:00	A	99,69%	07-25-2022	19:00:00
Subestación1	11,40	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
Subestación2	11,40	LN	A	100,00%	07-26-2022	13:00:00	A	100,00%	07-25-2022	18:00:00

T BOM	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T BOM 2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T EYE.	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T EYE.2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T S. COM	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.1	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.4	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.8	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.10	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.13	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR. 17	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR. 20	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.24	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.27	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.31	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T-SC	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T-SC2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T. PORT	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
TAP	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
TAP2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00

# Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	Wind Gen.	
Total Energy	MWh		
Wind Generation	0,981		
Solar Generation	0,000		
AC Generation	0,981		
DC Generation	0,000		
System Generation	1,962		
AC Demand	0,000		
DC Demand	0,000		
System Demand	0,000		
Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	48,1	07-25-2022	21:00:00
Solar Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Generation	48,1	07-25-2022	21:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Demand	0,0	07-26-2022	16:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	16:00:00
Load Factor	N/A		

## Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	PV Gen.	
Total Energy	MWh		
Wind Generation	0,000		
Solar Generation	0,923		
AC Generation	0,923		
DC Generation	0,000		
System Generation	1,846		
AC Demand	0,000		
DC Demand	0,000		
System Demand	0,000		
Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
Solar Generation	106,8	07-26-2022	12:00:00
AC Generation	106,8	07-26-2022	12:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Demand	0,0	07-26-2022	16:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	16:00:00
Load Factor	N/A		

# Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	Office & bldg
------------	--------	---------------

Total Energy	MWh
Wind Generation	0,000
Solar Generation	0,000
AC Generation	0,000
DC Generation	0,000
System Generation	0,000
AC Demand	3,387
DC Demand	0,000
System Demand	3,387

Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
Solar Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Demand	144,0	07-26-2022	06:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	16:00:00

Load Factor	87,5%
-------------	-------

## Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	Bloqs Dali	
Total Energy	MWh		
Wind Generation	0,000		
Solar Generation	0,000		
AC Generation	0,000		
DC Generation	0,000		
System Generation	0,000		
AC Demand	2,550		
DC Demand	0,000		
System Demand	2,550		
Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
Solar Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	16:00:00
AC Demand	177,8	07-25-2022	18:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	16:00:00
Load Factor	53,5%		

---

Anexos E

# **Informe sistema eléctrico micro-red caso de estudio nublado**

---

El siguiente anexo es el informe del sistema eléctrico existente del conjunto residencial Dalí integrado al sistema de generación renovable y sistema de baterías.



# Time Domain Load Flow Report

ETAP Version  
20.6.0C

Project:		System Frequency:	60
Location:		Unit System:	Metric
Contract:		Standard:	ANSI
Engineer:		Revision:	Base
Project Filename:	TesisOe2	Configuration:	Normal
Date:	29-08-2022	Study Case:	nubes_normal
Serial Number:			
Output Filename:	C:\ETAP 2060\TesisOe2prueba\TDLF designe.TU1S		

## Time Domain Load Flow Analysis

Study case ID	nubes_normal			
Maximum No. of Iteration	9999			
Precision of Solution	1E-04			
Halt on Non-Convergence	No			
Halt on Equipment Overload	No			
AC & DC Simultaneous Solution	Yes			
Loading Category	Normal			
Generation Category	Normal			
DC Loading Category	Normal			
Charger Loading	Uniform			
Load Diversity Factor	None			
Constant P	Constant Z	Constant I	Generic	
100	100	100	100	

Simulation Start time	7-25-2022	17:0:0	
Simulation End time	7-26-2022	20:0:0	
Simulation Step	1,00	Hour	
Total Simulation Counts	28		
External Data	No	Battery Model	Rated Voc & R
Wind External Data	PQ Data	SOC Category	
PV External Data	PQ Data	SOC (%)	
Annual Load Growth Factor	0,00%		

Apply Neg. Tolerance and Min. Temp. Correction	No		
Tolerance	Apply Adjustments	Tolerance	Percentage
Transformer Impedance	Yes	Individual	0,00
Reactor Impedance	Yes	Individual	0,00
Overload Heater Resistance	No	Individual	0,00
Transmission Line Length	No	Individual	0,00
Cable Length	No	Individual	0,00
Temperature Correction	Apply Adjustments	Correction	Degree C
Transmission Line Resistance	Yes	Individual	75
Cable Resistance	Yes	Individual	75

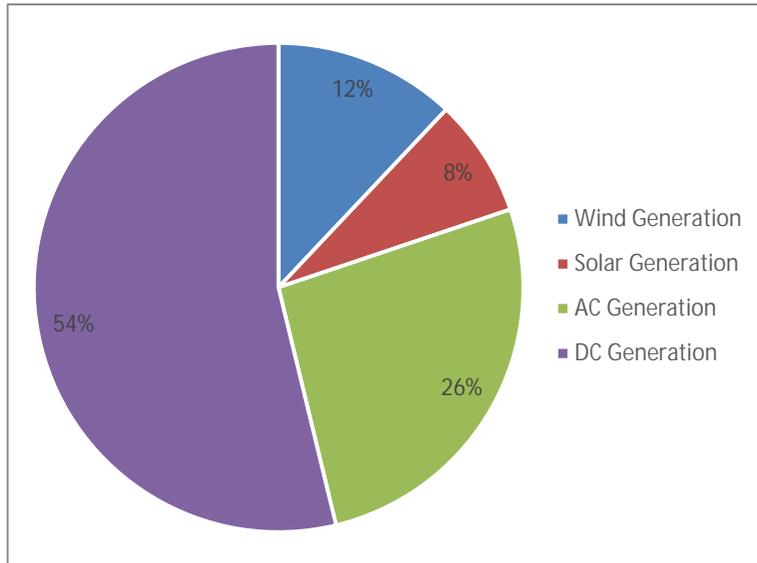
Number of Calculation	26	
Non-Converged Calculation	0	
Unsolved by Halting Calculation	0	
Calculation Start Time	08-30-2022	00:21:34
Calculation End Time	08-30-2022	00:21:53

### Time Domain Load Flow Events

Event ID	Date	Time	Device ID	Device Type	Action	Percentage	Duration Second
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 1	PVB 1	Cloud Cover	-40	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 2	PVB 2	Cloud Cover	-50	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB4	PVB4	Cloud Cover	-30	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 5	PVB 5	Cloud Cover	-40	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 6	PVB 6	Cloud Cover	-50	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 7	PVB 7	Cloud Cover	-10	300
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 8	PVB 8	Cloud Cover	-20	200
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 10	PVB 10	Cloud Cover	-50	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 11	PVB 11	Cloud Cover	-35	200
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 12	PVB 12	Cloud Cover	-20	250
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 13	PVB 13	Cloud Cover	-40	180
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 14	PVB 14	Cloud Cover	-50	250
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 16	PVB 16	Cloud Cover	-40	190
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 17	PVB 17	Cloud Cover	-10	210
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 18	PVB 18	Cloud Cover	-40	360
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB19	PVB19	Cloud Cover	-30	250
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 20	PVB 20	Cloud Cover	-20	200
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 21	PVB 21	Cloud Cover	-30	300
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 22	PVB 22	Cloud Cover	-50	100
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 23	PVB 23	Cloud Cover	-40	250
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 24	PVB 24	Cloud Cover	-20	150
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 27	PVB 27	Cloud Cover	-10	200
Nubes	2022-7-26	10:0:0	PVB 31	PVB 31	Cloud Cover	-50	360

# Time Domain Load Flow System Summary

	MWh
Total Energy	
Wind Generation	0,9832039
Solar Generation	0,6387125
AC Generation	2,159852
DC Generation	4,4002408
System Generation	8,1820092
AC Demand	6,2138519
DC Demand	0,0787588
System Demand	6,2926107
Total Energy Loss	1,8893985



Maximum Power	kW	Date	Time
Wind Generation	48,1	07-25-2022	21:00:00
Solar Generation	98,3	07-26-2022	10:00:00
AC Generation	118,8	07-25-2022	18:00:00
DC Generation	229,7	07-26-2022	18:00:00
AC Demand	321,9	07-25-2022	18:00:00
DC Demand	3,0	07-26-2022	10:00:00

Maximum Voltage	Bus ID	% Voltage	Date	Time
Phase A	BG 17	100,33	07-26-2022	10:00:00
Phase B	BG 17	100,33	07-26-2022	10:00:00
Phase C	BG 17	100,33	07-26-2022	10:00:00
Minimum Voltage	Bus ID	% Voltage	Date	Time
Phase A	B 17	100,00	07-26-2022	18:00:00
Phase B	B 17	100,00	07-26-2022	18:00:00
Phase C	Red Codensa	100,00	07-26-2022	18:00:00

Load Factor 71,3%

## Time Domain Load Flow Results

Date	Time	Source kW	Source kvar	Wind kW	Solar kW	DC Source kW	AC Load kW	AC Load kvar	DC Load kW	Losses kW
07-25-2022	17:00:00	91,2	40,5	40,7	0,0	190,6	267,53479	3,6	2,9	11,5
07-25-2022	18:00:00	118,8	48,1	41,1	0,0	219,5	321,85356	3,6	2,8	13,6
07-25-2022	19:00:00	104,1	13,1	41,4	0,0	220,5	308,261	3,6	2,8	13,5
07-25-2022	20:00:00	101,1	10,4	45,0	0,0	194,8	281,08292	3,6	2,9	11,9
07-25-2022	21:00:00	93,3	6,6	48,1	0,0	184,4	263,51758	3,6	2,9	11,2
07-25-2022	22:00:00	82,7	5,4	44,6	0,0	176,8	245,88409	3,6	2,9	10,7
07-25-2022	23:00:00	70,2	0,4	47,7	0,0	161,8	219,38454	3,6	2,9	9,7
07-26-2022	00:00:00	52,5	2,5	33,6	0,0	148,5	189,21628	23,2	2,9	8,9
07-26-2022	01:00:00	41,4	-0,5	33,4	0,0	145,1	174,96869	3,6	2,9	8,7
07-26-2022	02:00:00	37,7	-1,5	33,4	0,0	149,0	174,93352	3,6	2,9	8,9
07-26-2022	03:00:00	36,9	-1,9	33,7	0,0	132,8	158,9668	3,6	3,0	7,8
07-26-2022	04:00:00	33,8	-2,3	32,8	0,0	138,1	160,71165	3,6	3,0	8,2
07-26-2022	05:00:00	31,0	-1,9	30,5	0,0	159,8	178,3939	3,6	2,9	9,5
07-26-2022	06:00:00	40,1	0,7	30,3	0,0	170,5	197,63189	3,6	2,9	10,1
07-26-2022	07:00:00	68,1	-2,2	30,1	38,8	155,5	211,31133	3,6	2,9	9,3
07-26-2022	08:00:00	88,5	-2,7	29,6	62,3	133,4	210,77225	3,6	3,0	8,2
07-26-2022	09:00:00	101,3	-3,2	27,4	80,8	129,5	219,7433	3,6	3,0	8,0
07-26-2022	10:00:00	111,1	-4,7	26,0	98,3	123,0	223,3851	3,6	3,0	7,8
07-26-2022	11:00:00	102,7	-1,0	25,1	78,2	135,4	226,82682	3,6	3,0	8,3
07-26-2022	12:00:00	106,5	-2,9	30,0	80,0	125,8	221,531	3,6	3,0	7,8
07-26-2022	13:00:00	101,4	-5,7	36,3	73,6	129,3	219,73072	3,6	3,0	8,0
07-26-2022	14:00:00	93,6	-6,8	39,1	64,6	135,6	217,89625	3,6	3,0	8,4
07-26-2022	15:00:00	82,5	-4,8	39,8	44,9	128,4	200,0678	3,6	3,0	7,9
07-26-2022	16:00:00	70,9	-0,5	40,4	17,0	151,8	210,58754	3,6	2,9	9,1
07-26-2022	17:00:00	81,1	6,9	40,7	0,0	201,0	267,12322	3,6	2,9	12,1
07-26-2022	18:00:00	108,6	14,5	41,1	0,0	229,7	321,2677	3,6	2,8	14,2

## Worst Cases Device Loading Report

Device Information				% Maximum Loading Occurance				
Device ID	Type	Rating	Unit	A	B	C	Date	Time
WS11-3(3x300MCM)	Cable	1609,1	Amp	12,4	12,4	12,4	07-25-2022	18:00:00
WS11-4(3x300MCM)	Cable	1609,1	Amp	12,4	12,4	12,4	07-25-2022	18:00:00
WS12(3x4/0)	Cable	258,9	Amp	39,0	39,0	39,0	07-25-2022	18:00:00
WS22(3x4/0)	Cable	258,9	Amp	39,0	39,0	39,0	07-25-2022	18:00:00
T1.	Two-winding Transformer	289,5	kVA	13,4	0,0	0,0	07-25-2022	18:00:00
T2.	Two-winding Transformer	289,5	kVA	13,4	0,0	0,0	07-25-2022	18:00:00

## Worst Cases Bus Phase Voltage Report

Device Information			Maximum Voltage Occurance				Minimum Voltage Occurance			
ID	Nominal kV	Type	Phase	% Voltage	Date	Time	Phase	% Voltage	Date	Time
acBus1	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
acBus3	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
B1	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B2	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B3	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B4	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B5	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B6	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B7	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B8	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B9	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B10	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B11	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B12	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B13	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B14	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B15	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B16	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 17	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 18	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 19	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 20	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 21	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 22	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 23	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 24	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 25	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 26	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 27	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 28	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 29	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 30	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 31	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
B 32	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00

BARRA DIST1.	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
BARRA DIST1.2	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,58%	07-26-2022	18:00:00
BG1	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 2	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG3	0,21	LN	A	100,32%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG4	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 5	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 6	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 7	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 8	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 9	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 10	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 11	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 12	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 13	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 14	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 15	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 16	0,21	LN	B	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 17	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 18	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 19	0,21	LN	A	100,32%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 20	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 21	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 22	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 23	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 24	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 25	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 26	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 27	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 28	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG29	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG30	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG31	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
BG 32	0,21	LN	A	100,33%	07-26-2022	10:00:00	A	99,68%	07-26-2022	18:00:00
Red Codensa	11,40	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
Salida	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,67%	07-26-2022	18:00:00
Salida2	0,21	LN	A	100,01%	07-26-2022	10:00:00	A	99,67%	07-26-2022	18:00:00
Subestación1	11,40	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
Subestación2	11,40	LN	A	100,00%	07-26-2022	10:00:00	A	100,00%	07-26-2022	18:00:00

T BOM	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T BOM 2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T EYE.	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T EYE.2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T S. COM	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.1	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.4	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.8	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.10	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.13	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR. 17	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR. 20	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.24	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.27	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T TOR.31	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T-SC	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T-SC2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
T. PORT	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
TAP	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00
TAP2	0,21	LN	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00	A	100,00%	07-25-2022	17:00:00

# Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	Wind Gen.
------------	--------	-----------

Total Energy	MWh	
Wind Generation	0,983	
Solar Generation	0,000	
AC Generation	0,983	
DC Generation	0,000	
System Generation	1,966	
AC Demand	0,000	
DC Demand	0,000	
System Demand	0,000	

Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	48,1	07-25-2022	21:00:00
Solar Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Generation	48,1	07-25-2022	21:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Demand	0,0	07-26-2022	18:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	18:00:00

Load Factor	N/A
-------------	-----

# Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	PV Gen.	
Total Energy	MWh		
Wind Generation	0,000		
Solar Generation	0,639		
AC Generation	0,639		
DC Generation	0,000		
System Generation	1,277		
AC Demand	0,000		
DC Demand	0,000		
System Demand	0,000		
Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
Solar Generation	98,3	07-26-2022	10:00:00
AC Generation	98,3	07-26-2022	10:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Demand	0,0	07-26-2022	18:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	18:00:00
Load Factor	N/A		

# Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	Office & bldg
------------	--------	---------------

Total Energy	MWh
Wind Generation	0,000
Solar Generation	0,000
AC Generation	0,000
DC Generation	0,000
System Generation	0,000
AC Demand	3,454
DC Demand	0,000
System Demand	3,454

Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
Solar Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Demand	144,0	07-26-2022	18:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	18:00:00

Load Factor	88,4%
-------------	-------

# Time Domain Load Flow Group Summary

Group Type	Sector	Bloqs Dali	
Total Energy	MWh		
Wind Generation	0,000		
Solar Generation	0,000		
AC Generation	0,000		
DC Generation	0,000		
System Generation	0,000		
AC Demand	2,760		
DC Demand	0,000		
System Demand	2,760		
Max Power	kW	Date	Time
Wind Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
Solar Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
DC Generation	0,0	07-26-2022	18:00:00
AC Demand	177,8	07-25-2022	18:00:00
DC Demand	0,0	07-26-2022	18:00:00
Load Factor	55,9%		