



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**Estudio de la arquitectura de monitoreo y supervisión de tecnologías de Smart Grids para su implementación en proyectos de energía renovable en la Isla de San Andrés.**

**John Hernando Henry Diaz**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Bogotá, Colombia  
2024

**Estudio de la arquitectura de monitoreo y supervisión de tecnologías de Smart Grids para su implementación en proyectos de energía renovable en la Isla de San Andrés.**

**John Hernando Henry Diaz**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Maestría en Ingeniería Eléctrica**

Director (a):

Ph.D. Javier Rosero García

Línea de Investigación:

Iluminación y eficiencia energética

Grupo de Investigación:

Electrical Machines & Drives

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Bogotá, Colombia

*A mi difunto Padre Philip Henry Sarmiento*

*A mi Madre Matilde Diaz*

*A mis hermanos Philip y Sheryl*

# Resumen

## **Estudio de la arquitectura de monitoreo y supervisión de tecnologías de Smart Grids para su implementación en proyectos de energía renovable en la Isla de San Andrés**

Esta tesis se centra en el diseño de una propuesta de arquitectura de monitoreo para sistemas Smart grids que integren proyectos de energía renovable. Por lo cual se realizó un estudio de tres casos de uso centrados en el monitoreo de alguna característica clave de la red eléctrica, como es: el estado de la red, la gestión del consumo y la gestión de la energía. Para ellos se establecieron los casos de negocio pertinentes y, además, las tecnologías y sistemas de información que fueran capaces de administrar el flujo de datos presente en la red, se utiliza el modelo SGAM Garantizando que los procesos no se vean interrumpidos por tener equipos de distintos fabricantes (interoperabilidad) o que el sistema presente vulnerabilidades ante ataque de terceros en la red de comunicaciones (ciberseguridad). Durante la realización de los casos de uso se tuvo en cuenta lo que se esperaba del sistema, los indicadores claves de rendimiento y los escenarios que posibles durante la operación del nuevo sistema propuesto para la red eléctrica de la isla de San Andrés, finalmente se tomaron las tres arquitecturas producto de los casos de uso y se integraron en una sola, dando como resultado la propuesta de arquitectura de este trabajo.

**Palabras clave: (Smart Grids, SGAM, Interoperabilidad, Ciberseguridad).**

# Abstract

## **Study of the architecture of monitoring and supervision of Smart Grids technologies for their implementation in renewable energy projects on the Island of San Andrés**

This thesis focuses on the design of a proposed monitoring architecture for Smart grid systems that integrate renewable energy projects. For which a study of three use cases was carried out focused on monitoring some key characteristic of the electrical network, such as: the state of the network, consumption management and energy management. For them, the relevant business chaos was established and, in addition, the technologies and information systems that were capable of managing the flow of data present on the network. The SGAM model is used, guaranteeing that processes are not interrupted by having equipment from different manufacturers (interoperability) or that the system presents vulnerabilities to attacks from third parties on the communications network (cybersecurity). During the implementation of the use cases, what was expected of the system, the key performance indicators and the possible scenarios during the operation of the new system proposed for the electrical network of the island of San Andrés were taken into account. They took the three architectures resulting from the use cases and integrated them into one, resulting in the architecture proposal of this work.

**Keywords: (Smart Grids, SGAM, Interoperability, Cybersecurity).**



# Contenido

<b>Introducción general</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco Referencial</b>	<b>3</b>
2.1 Arquitecturas de red.....	3
2.2 Fundamentos de Smart Grids .....	3
2.3 Componentes Smart Grids .....	4
2.3.1 Medidores inteligentes (AMI) .....	4
2.3.2 Sistemas de monitoreo y control de red.....	5
2.3.3 Redes de comunicación.....	5
2.3.4 Microrred.....	5
2.3.5 Generación distribuida .....	5
2.3.6 Sistemas de almacenamiento eléctrico.....	6
2.3.7 Interoperabilidad .....	6
2.3.8 Ciberseguridad.....	6
2.4 Modelos en Smart Grids.....	7
2.4.1 Modelo OSI . . . . .	7
2.4.2 Modelo IEEE P2030 . . . . .	8
2.4.2.1 Sistemas de potencia . . . . .	8
2.4.2.2 Tecnología de las comunicaciones . . . . .	10
2.4.2.3 Tecnología de la información . . . . .	10
2.4.2.4 Beneficios . . . . .	12
2.4.3 Modelo GridWise Architecture . . . . .	13
2.4.3.1 Aspectos técnicos . . . . .	14
2.4.3.2 Aspectos informativos . . . . .	15
2.4.3.3 Aspectos organizativos . . . . .	16
2.4.3.4 Beneficios . . . . .	16

2.4.4	Modelo SGAM.....	17
2.4.4.1	Beneficios.....	18
2.4.4.2	Beneficios.....	19
2.4.5	Cuadro comparativo metodologías para la implementación de redes Smart Grids.....	20
2.5	Regulación de las redes Smart Grids en Colombia.....	21
2.6	Resumen de los principales aspectos tomados del estado del arte.....	25
<b>3.</b>	<b>Metodología Para el diseño de la propuesta de arquitectura y monitoreo Smart Grids en la isla de San Andrés.</b>	<b>30</b>
<b>4.</b>	<b>Metodología Para el diseño de la propuesta de arquitectura y monitoreo Smart Grids en la isla de San Andrés.</b>	<b>33</b>
4.1	Caso de Uso: Estado de la red.....	38
4.1.1	Descripción general caso de uso.....	39
4.1.1.1	Identificación del caso de Uso.....	39
4.1.1.2	Alcance y objetivos del caso de uso.....	39
4.1.1.3	Narrativa del caso de uso estado de la red.....	40
4.1.1.4	Indicadores clave de rendimiento (KPI).....	41
4.1.1.5	Condiciones del caso de uso.....	42
4.1.2	Diagrama del caso de uso.....	44
4.1.3	Detalles técnicos.....	44
4.1.3.1	Actores.....	44
4.1.4	Análisis paso a paso del caso de uso.....	45
4.1.4.1	Resumen general de los escenarios.....	45
4.1.4.2	Descripción de los escenarios.....	49
4.1.5	Modelado SGAM del caso de uso del estado de la red.....	54
4.1.5.1	Capa de componentes.....	54
4.1.5.2	Capa de negocio.....	56
4.1.5.3	Capa de función.....	57
4.1.5.4	Capa de información.....	58
4.1.5.5	Capa de comunicación.....	60
4.2	Caso de Uso: Gestión de Consumo.....	61
4.2.1	Descripción general caso de uso.....	61
4.2.1.1	Identificación del caso de Uso.....	61

---

4.2.1.2	Alcance y objetivos del caso de uso . . . . .	61
4.2.1.3	Narrativa del caso de uso estado de la red . . . . .	62
4.2.1.4	Indicadores clave de rendimiento (KPI) . . . . .	63
4.2.1.5	Condiciones del caso de uso . . . . .	64
4.2.2	Diagrama del caso de uso . . . . .	65
4.2.3	Detalles técnicos . . . . .	66
4.2.3.1	Actores . . . . .	66
4.2.4	Análisis paso a paso del caso de uso . . . . .	68
4.2.4.1	Resumen general de los escenarios . . . . .	68
4.2.4.2	Descripción de los escenarios . . . . .	73
4.2.5	Modelado SGAM del caso de uso del estado de la red . . . . .	77
4.2.5.1	Capa de componentes . . . . .	77
4.2.5.2	Capa de negocio . . . . .	78
4.2.5.3	Capa de función . . . . .	79
4.2.5.4	Capa de información . . . . .	80
4.2.5.5	Capa de comunicación . . . . .	80
4.3	Caso de Uso: Inyección a la red . . . . .	81
4.3.1	Descripción general caso de uso . . . . .	81
4.3.1.1	Identificación del caso de Uso . . . . .	82
4.3.1.2	Alcance y objetivos del caso de uso . . . . .	82
4.3.1.3	Narrativa del caso de uso estado de la red . . . . .	82
4.3.1.4	Indicadores clave de rendimiento (KPI) . . . . .	83
4.3.1.5	Condiciones del caso de uso . . . . .	84
4.3.2	Diagrama del caso de uso . . . . .	84
4.3.3	Detalles técnicos . . . . .	85
4.3.3.1	Actores . . . . .	85
4.3.4	Análisis paso a paso del caso de uso . . . . .	86
4.3.4.1	Resumen general de los escenarios . . . . .	86
4.3.4.2	Resumen general de los escenarios . . . . .	87
4.3.4.3	Descripción de los escenarios . . . . .	92
4.3.5	Modelado SGAM del caso de uso inyeccion de la red . . . . .	96
4.3.5.1	Capa de componentes . . . . .	96
4.3.5.2	Capa de negocio . . . . .	97
4.3.5.3	Capa de función . . . . .	98

---

4.3.5.4	Capa de información .....	99
4.3.5.5	Capa de comunicación .....	100
4.4	Integración Casos de uso .....	101
4.4.1	Capa de Componentes integrada .....	101
4.4.2	Capa de Comunicaciones integrada .....	102
4.4.3	Capa de Información integrada.....	103
4.4.4	Capa de Función integrada .....	104
4.4.5	Capa de Negocio integrada.....	105
4.4.6	Modelo SGAM.....	107
<b>5.</b>	<b>Conclusiones generales</b> .....	<b>109</b>
5.1	Conclusiones .....	109
5.2	Recomendaciones .....	110
	Referencias .....	111

# Lista de Figuras

2.1	Red Smart grid. Fuente: (novelec, 2017).....	4
2.2	Representación del modelo OSI. Fuente: An overview of The OSI Model and its Seven Layers (Amankumar, 2023). ....	8
2.3	Modelo GridWise. Fuente: Categorías en capas de interoperabilidad (Council, 2008). ....	14
2.4	Representación del modelo SGAM. Fuente: Modelo SGAM (CCMC, 2014). ....	17
2.5	Cuadro de los componentes del modelo SGAM.....	18
2.6	Modelo GridBlocks Architecture.Fuente: Cisco GridBlocks Architecture (CISCO, 2012).....	19
2.7	Comparación modelos de Arquitecturas. Nota: Se enumeran las características de cada uno de los modelos. Elaboración propia.....	20
3.8	Etapas Investigación.....	31
4.9	Relación entre los casos de uso.....	34
4.10	Diagrama de caso de uso para el estado de la red.....	44
4.11	Capa de componentes del caso de uso de estado de la red.....	56
4.12	Capa de negocio del caso de uso de estado de la red.....	57
4.13	Capa de función del caso de uso de estado de la red.....	58
4.14	Capa de información del caso de uso de estado de la red.....	59
4.15	Capa de comunicación del caso de uso de estado de la red.....	60
4.16	Diagrama de caso de uso para el consumo de energía. ....	65
4.17	Diseño de la capa de componentes para el caso de uso de gestión del consumo	78
4.18	Diseño de la capa de negocio para el caso de uso de gestión del consumo	79
4.19	Diseño de la capa de función para el caso de uso de gestión del consumo.....	79
4.20	Diseño de la capa de información para el caso de uso de gestión del consumo	80
4.21	Diseño de la capa de comunicación para el caso de uso de gestión del consumo	81
4.22	Diagrama de caso de uso para la integración de las DER en la red eléctrica.	85

---

4.23	Diseño de la capa de componentes para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica. ....	97
4.24	Diseño de la capa de negocio para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.....	98
4.25	Diseño de la capa de función para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.....	99
4.26	Diseño de la capa de información para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica. ....	100
4.27	Diseño de la capa de comunicación para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica. ....	101
4.28	Capa de Componentes Integrada.....	102
4.29	Capa de Comunicaciones Integrada. ....	103
4.30	Capa de Información Integrada.....	104
4.31	Capa de Función Integrada. ....	105
4.32	Capa de Negocio Integrada.....	106
4.33	Propuesta de Arquitectura de monitoreo y control. ....	107

# Lista de Tablas

2.1	Protección Datos del Consumidor. Normas y regulaciones para la protección de datos personales en redes inteligentes. (UPME, 2016b) .....	23
2.2	Interoperabilidad en Colombia. Normas y regulaciones para la interoperabilidad en redes inteligentes (UPME, 2016b).....	23
2.3	Regulaciones de Ciberseguridad en Colombia. Normas y regulaciones para la Ciberseguridad en redes inteligentes en Colombia (UPME, 2016b).....	24
2.4	Protección de los usuarios del servicio de comunicación. Normas y regulaciones para la Protección de los usuarios del servicio de comunicación (UPME, 2016b).....	24
4.5	Secciones del caso de uso según estándar IEC 62559 .....	33
4.6	Relación entre Objetivos de negocio y casos de uso .....	35
4.7	Alcance y objetivos del caso de uso .....	40
4.8	Narrativa del caso de uso.....	41
4.9	Indicadores clave de rendimiento (KPI).....	42
4.10	Condiciones del caso de uso .....	42
4.11	Lista de actores involucrados en el caso de uso.....	45
4.12	Resumen de los escenarios del caso de uso: estado de la red.....	46
4.13	Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de parámetros eléctricos .....	50
4.14	Continuación del escenario de monitoreo de parámetros eléctricos.....	50
4.15	Descripción detallada del escenario de procesamiento de la información .....	51
4.16	Continuación del escenario de procesamiento de la información.....	51
4.17	Descripción detallada del escenario de gestión de la ciberseguridad del sistema	52
4.18	Descripción detallada del escenario de gestión de informes del sistema.....	53
4.19	Información intercambiada para los escenarios del caso del estado de la red	54
4.20	Identificación del caso de uso de gestión del consumo.....	61
4.21	Alcance y objetivos del caso de uso .....	62

4.22 Narrativa del caso de uso .....	63
4.23 Indicadores clave de rendimiento (KPI) .....	64
4.24 Condiciones del caso de uso.....	64
4.25 Lista de actores involucrados en el caso de uso.....	67
4.26 Resumen de los escenarios del caso de uso: gestión de la carga .....	69
4.27 Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo del consumo	73
4.28 Continuación del escenario de monitoreo del consumo .....	73
4.29 Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de carga.....	74
4.30 Continuación del escenario de gestión de Carga.....	74
4.31 Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de carga de las DER.....	75
4.32 Continuación del escenario de gestión de consumo DER .....	75
4.33 Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de cargabilidad eléctrica.....	76
4.34 Continuación del escenario de monitoreo de cargabilidad eléctrica .....	76
4.35 Información intercambiada para los escenarios del caso de consumo energético y cargabilidad en la movilidad eléctrica .....	77
4.36 Identificación del caso de uso de integración de las DER a la red eléctrica. ....	82
4.37 Alcance y objetivos del caso de uso.....	82
4.38 Narrativa del caso de uso .....	83
4.39 Indicadores clave de rendimiento (KPI) .....	83
4.40 Condiciones del caso de uso.....	84
4.41 Lista de actores involucrados en el caso de uso.....	86
4.42 Resumen de los escenarios del caso de uso: Integración de las DER en la red eléctrica de san Andrés Islas .....	88
4.43 Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de sistemas DER.....	92
4.44 Continuación del escenario de monitoreo de sistemas DER .....	92
4.45 Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de almacenamiento de energía .....	93
4.46 Continuación del escenario de gestión de almacenamiento de energía .....	93
4.47 Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de inyección de carga DER.....	94
4.48 Continuación del escenario de monitoreo de inyección de carga DER .....	94
4.49 Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de informes	95

---

4.50 Continuación del escenario de gestión de informes.....	95
4.51 Información intercambiada para los escenarios del caso de integración de las DER en la red eléctrica de san Andrés Islas .....	96

# Introducción general

Las energías renovables son fuentes energéticas limpias, que se consideran inagotables dado que son del ambiente como es el caso del sol y el viento. Gracias a ellas se ha logrado solventar requerimientos energéticos de comunidades alrededor del mundo aportando a la disminución de los efectos negativos de contaminación producidos al utilizar energías fósiles. (UPME, 2016a) en su estudio del mapa de implementación de redes inteligentes resalta la importancia de la adopción de nuevas tecnologías que permiten la mejora en la eficiencia energética y disminución en Combustible fósil, La isla de San Andrés en busca de alternativas eléctricas que mejoren las condiciones actuales del servicio de energía ha empezado por la implementación de modelos de energía alternativa, que necesitan de herramientas para administrarlo de manera eficiente, haciendo necesario la implementación de sistemas de supervisión y monitoreo.

Según (UPME, 2016a) las aplicaciones de la red inteligente necesitan información de los consumidores, los generadores y el estado de la red. De lo anterior, la gran cantidad de datos que debe ser procesada en tiempo real producto de procesos claves como son: la generación, transmisión y distribución, requiere la implementación de nuevas tecnologías de información, que sin duda alguna son el gran desafío para el futuro nuevo diseño de red inteligente. Ahora bien, teniendo en cuenta factores de interoperabilidad y seguridad en el tratamiento de la información que puedan surgir por la adaptación entre los dispositivos, es necesario permitir el flujo de datos en forma bidireccional entre los diferentes sistemas que componen la nueva red para su correcto tratamiento, ya que la nueva red inteligente estará encargada de administrar las nuevas tareas de supervisión y la interacción con el usuario final.

Es por ello que, se hace necesario la implementación de una arquitectura de monitoreo, que permita el acople de las nuevas tecnologías y protocolos, además de proporcionar herramientas que faciliten la correcta supervisión de las fuentes renovables de energía que se integren. Para (UPME, 2016b) las arquitecturas de telecomunicaciones deben soportar las soluciones de la red inteligentes, desarrollando redes de comunicación interoperables tanto en el presente como en el futuro. En este documento, se estudian diferentes metodologías de red, como la SGAM, IEEE P8030, GRIDWISE, etc. Centrando la investigación en las características de uno, como son la flexibilidad, ciberseguridad, nivel

jerárquico y demás atributos de cada uno. En el caso de la presente propuesta se tienen en cuenta aspectos relacionados con el monitoreo en tiempo real de los diferentes sistemas que conforman la red, permitiendo administrar un gran flujo de información que sirva para una toma eficiente de las diferentes decisiones por los encargados de prestar el servicio energético en las Islas.

En los siguientes capítulos, se establecerá un caso de uso en donde se abordarán los diferentes actores que conforman la propuesta de arquitectura de monitoreo, así como los estándares y protocolos que garanticen la interconexión entre dispositivos y normas de ciberseguridad. Así mismo, se establecerá el escenario en donde se requiera la administración de datos, velocidad de transferencia de información, y adaptabilidad de las fuentes no convencionales de energía, con la nueva plataforma de supervisión que compondrán la red inteligente de San Andrés Islas.

Luego, se propondrá un modelo de referencias para arquitecturas de monitoreo a partir de los requerimientos detectados en el caso de uso y de acuerdo con la bibliografía recolectada con respecto al tema, que en este caso es el modelo SGAM, esto teniendo en cuenta la facilidad visual para representar las diferentes interacciones, que permita un entendimiento sencillo de la red eléctrica. Con lo cual, se busca dejar establecidos puntos críticos del sistema que sirvan para futuras implementaciones, siendo una arquitectura flexible y dinámica en el tiempo.

Entendiendo, que la red actual posee componentes tecnológicos que deben ser actualizados, con el fin de hacer una transición tecnológica que integre equipos nuevos con los tradicionales, se propone una arquitectura capaz de ser trabajada en forma modular, posibilitando que el reemplazo de los componentes con nuevas herramientas pueda ser hecho de manera gradual. Esto con el fin de proponer una arquitectura de monitoreo y supervisión de red inteligente, que sirva como aporte a la plataforma insular de control y medición PIMMA, la cual está encargada de administrar los recursos energéticos de la isla de San Andrés, entendiendo los retos de interoperabilidad, ciberseguridad y renovación de la red eléctrica tradicional a una red eléctrica digital e inteligente.

## 2. Marco Referencial

A continuación, se reúnen los aportes teóricos que permiten situar esta propuesta en el contexto de supervisión y monitoreo de las arquitecturas Smart Grids. Así mismo, las consideraciones teóricas consideradas abarcan conceptos como son: fundamentos de Smart Grids, arquitecturas de red, interoperabilidad, ciberseguridad, modelo OSI, sistemas de almacenamiento, generación distribuida, redes de comunicación.

### 2.1 Arquitecturas de red

La transmisión de datos entre computadoras requiere de la disposición de conceptos que involucren partes físicas como partes virtuales o de software, estas deben interactuar mediante protocolos y su disposición está en forma de capas. Para ([Stallings, 2004](#)) una arquitectura de protocolos es una estructura en capas de elementos hardware y software que facilita el intercambio de datos entre sistemas y posibilita aplicaciones distribuidas, como el comercio electrónico y la transferencia de archivos.

### 2.2 Fundamentos de Smart Grids

Para ([i scoop, 2018](#)), una red inteligente es una red eléctrica que permite un flujo bidireccional de electricidad y datos en el que la medición inteligente suele considerarse un primer paso. Las redes inteligentes como concepto se dieron a conocer hace más de una década y son fundamentales en la transformación digital del sector eléctrico. Así mismo, se han establecido tendencias y características esenciales que han acoplado las redes de computadoras en la implementación de sistemas de monitoreo de redes eléctricas.

Ahora bien, dentro de los avances que se han presentado se encuentra la inclusión del Internet en las operaciones remotas de muchas actividades, incluyendo la distribución de energía. Para ([Rouse, 2017](#)) la tecnología de red inteligente es una forma extendida de tecnología analógica que también se ha introducido para controlar el uso de electrodomésticos mediante el empleo de comunicación bidireccional.

Sin embargo, el predominio del acceso a Internet en la mayoría de los hogares ha hecho que

la implementación de la red inteligente sea más confiable en la práctica. Los dispositivos de red inteligente transmiten información de tal manera que permite a los usuarios comunes, operadores y dispositivos automatizados responder rápidamente a los cambios en los sistemas de condición de la red inteligente. La figura 2.1 ilustra de manera general este comportamiento.



**Figura 2.1.** Red Smart grid. Fuente: (novelec, 2017).

## 2.3 Componentes Smart Grids

Los componentes que forman una arquitectura de red inteligente dependen del tipo de caso de uso que se esté especificando, aunque dentro de las mismas hay algunos que se repiten dentro de cada diseño. A continuación, se listan algunos componentes claves en el desarrollo de este tipo de proyectos. Los cuales son pilares en toda arquitectura de red que requiera el monitoreo de datos provenientes de cualquier dispositivo.

### 2.3.1 Medidores inteligentes (AMI)

Los sistemas de medición inteligente son dispositivos que permiten en tiempo real obtener los datos del consumo, tanto para el usuario como para el proveedor del servicio. Según (Ruiz y García, 2015), la infraestructura de medición AMI existe gracias a la vinculación de las tecnologías de comunicaciones permitiendo que exista el flujo bidireccional de información. Este valor agregado que se obtiene es lo que diferencia una red tradicional de las nuevas redes inteligentes, la información antes viajaba en una sola dirección, dando como resultado toma de decisiones basadas en datos sesgados.

### 2.3.2 Sistemas de monitoreo y control de red

El monitoreo de los dispositivos de la red inteligente tiene como propósito la recolección y tratamiento de un gran flujo de datos. Se incluyen equipos de hardware y software encargados de esta labor, es por ello por lo que su interacción es clave durante el seguimiento que quiera realizarse en algún proceso en específico. De lo anterior ([Cisco Systems, 2023](#)) afirma que los sistemas de monitoreo y control de la red tienen el propósito de detectar cualquier dispositivo, enviando actualizaciones a los administradores de red, de ahí la confianza que existe al utilizar los mismos. Otra de las características que resalta el autor son los medios de comunicación que utilizan, dado que puede enviar mensajes por correo electrónico o vía celular.

### 2.3.3 Redes de comunicación

Un sistema de monitoreo se puede comparar con una red de comunicaciones. Dentro de su funcionamiento se utilizarán dispositivos que se interconectan ya sea de manera física o inalámbrica para el intercambio de información. Principios utilizados en la ingeniería de software son aplicados en el control de procesos eléctricos. Para ([Inga, 2012](#)), las Redes de Comunicación sobre Smart Grid, en conjunto con una metodología de gestión apropiada, pueden aportar opciones que busquen ofertar servicios adicionales a los consumidores del suministro eléctrico, de lo anterior debe existir algún tipo de topología de interconexión las cuales de acuerdo con sus características serán utilizadas para alguna actividad en especial.

### 2.3.4 Microrred

Dentro de las redes eléctricas que abarcan un área geográfica bastante amplia, se encuentra una más pequeña, que en su momento pueden llegar a funcionar de manera aislada, de ser requerido. Este tipo de redes suelen ser más amigables con el medio ambiente porque demandan menor infraestructura, evitando sobre dimensionamientos de la red, reflejándose en una mayor eficiencia energética. Para ([Llano, 2015](#)) las microrredes son un sistema de interconexión con capacidad de autoabastecerse y operar de forma aislada si es necesario. Incluye la generación, el almacenamiento y el transporte eléctrico. Esta afirmación por parte del autor refleja la versatilidad de esta, permitiendo la integración de generación distribuida, sistemas de movilidad eléctrica y de almacenamiento.

### 2.3.5 Generación distribuida

La generación eléctrica suele verse afectada por factores externos, como son los producidos por los fenómenos meteorológicos como es el caso de tormentas y huracanes, que dado la posición geográfica de San Andrés Islas pueden ser comunes en determinadas fechas

del año, afectando principalmente su infraestructura. Estos percances motivan la utilización de fuentes no convencionales, debido a su forma distribuida ofrecen mayor robustez a este tipo de condiciones. Esto plantea un sistema de generación aprovechando los recursos naturales como el sol y el viento conocido como generación distribuida de fuentes no convencionales. (Navntoft y cols, 2019) la define como la energía eléctrica generada mediante fuentes renovables en el mismo punto de consumo por parte de los usuarios conectados a la red eléctrica de distribución.

### **2.3.6 Sistemas de almacenamiento eléctrico**

El mundo está en un proceso de concientización ambiental, en donde después de utilizar energía no renovable se busca la implementación de proyectos energéticos que logren captar la energía producida por fuentes más amigables con el medio ambiente. En la actualidad se logra ver un gran uso de la energía disponible a partir de radiación solar o el viento, pero independiente del tipo de fuente, una característica en común es la intermitencia de su disponibilidad, caracterizándose por tener picos altos y bajos. De ahí la importancia de poder almacenarla mediante dispositivos diseñados para tal fin. Según (MARTÍN, 2016), los sistemas de almacenamiento ayudarán notablemente en la optimización de la infraestructura eléctrica. Más allá de ser una afirmación del autor, esta necesita un compromiso real por parte de las instituciones y usuarios, dado que requiere la creación de alguna infraestructura para su buen desempeño.

### **2.3.7 Interoperabilidad**

Para (Spencer, 2021), la interoperabilidad es la capacidad de dos o más componentes, dispositivos, sistemas o aplicaciones para intercambiar y utilizar datos de forma segura. Permite a las empresas de servicios públicos integrar múltiples tecnologías diferentes con la seguridad de que funcionarán juntas y mitigan el riesgo de obsolescencia. La evolución de las redes inteligentes ha hecho necesario unificar el proceso de comunicación mediante la creación de estándares que permitan la interacción de dispositivos pertenecientes a una red de distribución en forma eficaz.

### **2.3.8 Ciberseguridad**

Con el auge de las nuevas tecnologías que apoyan la implementación de las redes inteligentes alrededor del mundo, surgen muchos desafíos como lo son la generación, transporte y manejo de la información producto de estos datos. Son muchos los beneficios que se obtienen al agilizar estos procesos incluyendo la toma de decisiones. Aunque son muchos los aspectos favorables, la nueva red estará expuesta a riesgos como son los

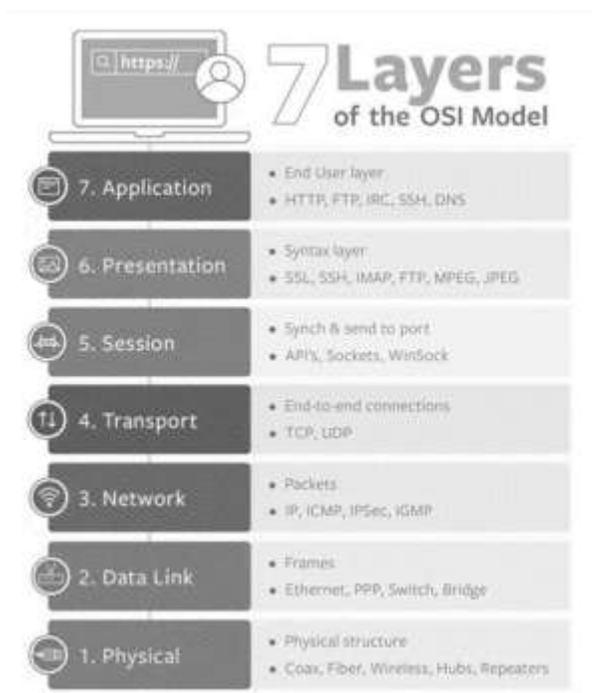
producidos por ataques cibernéticos que pueden afectar su buen funcionamiento, estos riesgos de ciberseguridad deben ser tenidos en cuenta por los diseñadores de las nuevas tecnologías. El marco de seguridad cibernética de NIST consta de tres componentes principales (Gopstein, Nguyen, O'Fallon, Hastings, y Wollman, 2021):

1. **Cybersecurity Framework Core** proporciona un catálogo de actividades de ciberseguridad deseadas, basado en las cinco funciones básicas de identificar, proteger, detectar, responder y recuperar, a partir de las cuales se pueden identificar los resultados organizacionales.
2. **Framework Implementation Tiers** Los niveles de implementación brindan contexto sobre cómo ver la gestión de riesgos de ciberseguridad y deberían ayudar a las organizaciones a evaluar la funcionalidad y la repetibilidad de su proceso de gestión de riesgos.
3. **Framework Profiles** se utiliza para identificar y priorizar oportunidades de mejora de ciberseguridad en una organización a través de la personalización de los resultados principales.

## 2.4 Modelos en Smart Grids

### 2.4.1 Modelo OSI

Los modelos de referencia permiten normalizar los sistemas de comunicación permitiendo que las comunicaciones entre computadoras sean posibles. Este modelo en particular está compuesto por capas, para (Kumar, Dalal, y Dixit, 2014) el modelo OSI se compone de siete capas y es bien conocido por tener conjuntos de capas ampliamente divididos. En este modelo, sesiones y capas de presentación se agregaron entre el transporte y capas de aplicación. La figura 2.2 presenta el diagrama general de capas del modelo OSI.



**Figura 2.2.** Representación del modelo OSI. Fuente: An overview of The OSI Model and its Seven Layers (Amankumar, 2023).

## 2.4.2 Modelo IEEE P2030

El modelo IEEE P2030 es un esquema que sirve como guía de redes Smart Grids, este estándar permite afrontar desafíos de interoperabilidad presentados durante el funcionamiento de la nueva red inteligente. Para (Lima, 2012) se basa en una arquitectura de tres perspectivas diferentes como son: sistemas de potencia, comunicaciones y tecnologías de información. Así mismo las arquitecturas adoptan un sistema metódico de extremo a extremo.

### 2.4.2.1 Sistemas de potencia

Dentro de las funciones de establecer una arquitectura Smart Grids, se contempla la generación y distribución de energía eléctrica, siendo de gran importancia dado la necesidad de tener un proceso eficiente de producción acorde con las políticas de atención al consumidor. Por lo tanto, es necesario el monitoreo constante de cada una de las actividades que los conforman, garantizando así la prestación del servicio mediante un flujo constante de información que permita la toma de decisiones en tiempo real. Por ello, (Lima, 2012) especifica los siguientes dominios que juegan un papel crucial dentro del sistema:

#### 1. Dominio de generación masiva

- Contiene cualquier generación y almacenamiento que esté conectado directamente a la transmisión del sistema sin importar su tamaño.
- Las interfaces principales del dominio de generación masiva son entidades de dominio de transmisión, generación y entidades de control de operaciones de transmisión, y dominio de mercados.

## **2. Dominio de transmisión**

- Incluye entidades que representan equipos asociados con el sistema de transmisión.
- Las interfaces primarias del dominio de transmisión son con el dominio de generación masiva, control y Dominio de operaciones.

## **3. Dominio de distribución**

- Incluye entidades ubicadas en todo el sistema de distribución eléctrica.
- La interfaz principal del dominio de distribución es con la operación de distribución y la entidad de control en el directorio Dominio de control y operaciones.
- El dominio de distribución también puede tener una interfaz con la entidad de transmisión de subestación en el dominio de transmisión.

## **4. Dominio del cliente**

- Incluye los diferentes tipos de clientes que están conectados a la distribución eléctrica o sistema de transmisión eléctrica.
- En este nivel se incluyen todas las cargas conectadas, en el nivel de distribución o en el nivel de transmisión.

## **5. Dominio de control y operaciones**

- En este dominio se incluyen tres entidades distintas de operación y control. Las cuales son las encargadas que controlar la generación, distribución y transmisión.

## **6. Dominio de mercados**

- En este dominio se reflejan todas las actividades de comercialización de la empresa prestadora del servicio eléctrico.

## **7. Dominio del proveedor de servicios**

- En este dominio se incluyen terceros y demás prestadores del servicio. En él se realiza el empalme entre las empresas prestadoras del servicio y el usuario final.

### 2.4.2.2 Tecnología de las comunicaciones

Los sistemas de monitoreo y control de redes inteligentes están compuestos por una gran cantidad de diferentes tecnologías de comunicación, es por ello por lo que (Lima, 2012) afirma: "La información utilizada para el monitoreo y control de redes inteligentes tendrá requisitos de comunicaciones que variarán ampliamente dependiendo de las aplicaciones de la red inteligente". De lo anterior el autor hace referencia al hecho de la flexibilidad que presenta esta arquitectura en su diseño debido a que es posible su implementación en diferentes tipos de redes sin importar el tamaño de estas. Además, en la implementación de proyectos en donde se desea usar arquitecturas Smart Grids sobre redes tradicionales de energía eléctrica, es conveniente conocer en forma ordenada los requisitos de comunicación necesarios.

Ahora bien, en esta capa se definen las entidades de comunicaciones, como aquellos sistemas de redes tanto alámbricos como inalámbricos, de gran importancia dentro de la arquitectura Smart Grids debido a la necesidad de tener flujo de información desde cada una de las estaciones de trabajo. Esta capa utiliza una función de administración de clave debido a la gran cantidad de información que se comparte con diversas entidades del sistema, para lo cual se busca generar, actualizar y eliminar claves en forma automática, razón por la cual el canal de comunicación tiende a ser muy seguro.

### 2.4.2.3 Tecnología de la información

Las nuevas redes inteligentes que se acoplan con las redes tradicionales de distribución de energía presentan grandes beneficios; al igual que muchos retos asociados con la interoperabilidad y la seguridad entre los distintos entes que conforman. esto debe afrontarse desde la perspectiva de las nuevas tecnologías de información. Lo anterior debido a la necesidad de poder contar con información confiable y en tiempo real que sirva para la toma de decisiones, Permitiendo el flujo constante de datos entre los siete dominios que presenta este modelo.

Dentro de las interacciones que deben existir entre los diferentes dominios, se pueden presentar algunas brechas las cuales pueden llegar a ser funcionales (funciones de software que se deben ejecutar) o no funcionales (restricciones). De lo anterior (Lima, 2012) describe en forma lógica la tecnología de información usando los términos de fuentes de datos, modelos de datos, analítica, integración, hardware y seguridad.

### Fuentes de datos

Las empresas generadoras de energía pueden llegar a generar en tiempo real una gran cantidad de datos de información que son producidos dada la operación del sistema

energético, ya sea por la red de sensores que lo conforma, por el sistema de medición AMI, equipos de medición de campos, fallas presentadas o la medición de las fuentes de energía renovable presentadas dentro del sistema. Toda esta información para ser procesada en forma óptima debe contar con arquitecturas de red que permitan ser transportadas entre capas.

### **Modelos de datos**

Los modelos de datos permiten el intercambio eficiente de la información entre las diferentes entidades, cuando se cuenta con estos modelos dentro de las arquitecturas se garantiza un proceso eficiente y las aplicaciones presentes en la nueva red inteligente ejecutarán fácilmente su procedimiento de comunicación al existir una semántica común. De lo anterior tenemos como ejemplo el modelo CIM (Common Information Model). Este modelo permite la interoperabilidad de intercambio de información mediante la utilización de modelos objetos estandarizados que permiten semánticas comunes, vistas contextuales y sintácticas.

### **Analítica**

Las redes inteligentes necesitan procesar la gran cantidad de información con que cuentan, mediante la utilización de software especializado para la analítica de datos. Cuando se realiza la implementación de una nueva tecnología sobre una red tradicional, parte de las operaciones analíticas se realiza con software ya existente, mientras que aquellas que requieran nuevos procesos son realizados por nuevos programas. Aunque, herramientas como el excell seguirán siendo utilizados como medio para el análisis de bases de datos limitadas, con la implementación de una red eléctrica renovada, y el aumento del flujo de información se requiere utilizar nuevos softwares.

### **Integración**

Durante este proceso los datos luego de generarse, modelarse y analizarse serán integrados a los procesos facilitando la toma de decisiones y permitiendo que la información esté disponible para los usuarios. Esto se consigue gracias al implementación del modelo SOA clásico. Al integrar los datos se deben considerar aspectos tales como: verificación de los datos, su correlación, definición del personal autorizado. De lo anterior, aunque se esté realizando la actualización de la red tradicional por una red inteligente, no significa el reemplazo de todos los componentes con los que se contaba. Es por ello que lo que debe garantizarse es el correcto flujo de datos entre los dispositivos originales, los nuevos sensores y equipos para la actualización. De ahí la importancia de la interoperabilidad tanto

a nivel de servicio como a nivel de aplicación.

## **Hardware**

Con el aumento del flujo de datos, la implementación de nuevos softwares se hace necesario. Aunque la parte lógica de estos procedimientos es muy importante, la parte física que ejecuta las instrucciones requiere de gran atención. Es por lo que se debe considerar la adquisición de nueva maquinaria capaz de ejecutar acciones con grandes bases de datos. El almacenamiento toma gran relevancia sobre todo cuando hablamos de los sistemas de medición implantados. La arquitectura de hardware debe garantizar el almacenamiento (sistemas de cabecera y sistemas de medición) de datos, así como su administración, para la alimentación de los dispositivos que realizaran su análisis. Estos datos luego de ser procesados se podrán utilizar en labores como la facturación u otro tipo de operaciones, sin dejar de lado que el sistema debe realizar las respectivas copias de seguridad que aseguren el sistema ante posibles fallos.

## **Seguridad**

Al tratarse de información digital que será almacenada en forma lógica, se pueden presentar ataques maliciosos de terceros con el fin de obtener determinada información. Así, la empresa prestadora del servicio eléctrico se verá afectada por la pérdida total o parcial de gran parte de la información. De lo anterior la confidencialidad y disponibilidad de los datos son considerados prioritarios en los sistemas de tecnologías de la información empresarial y claves en los sistemas de control y de protección. Es por ello que se debe considerar la adquisición de sistemas de seguridad, que hagan frente a estas amenazas. Estos dispositivos de seguridad varían de acuerdo con el tipo de ataque que se esté previniendo y a la política de la organización.

### **2.4.2.4 Beneficios**

La utilización de la arquitectura propuesta por el modelo presenta una serie de beneficios los cuales permiten la integración de nuevos elementos a la red, así como permitir que en un futuro pueda ser actualizada. Dentro de estos beneficios se encuentran:

- Estandarización de los componentes de la infraestructura presente en la red como son la estación central en punta Evans, líneas de subtransmisión, dos subestaciones de distribución, y los circuitos que la conforman, con nuevas tecnologías de comunicación

que permitan llevar un seguimiento de la actividad eléctrica correspondiente. Estos nuevos hardware y software implementados tendrán una política clara de interrelación, así como su vida útil será estable en el tiempo.

- Al implementar tecnologías basadas en este estándar, habrá una variedad de posibilidades debido a la existencia en el mercado de una alta gama de proveedores, las tecnologías tendrán gran disponibilidad de adquisición por parte de los nuevos desarrolladores de la red inteligente.
- El modelo IEEE permite la estandarización independiente del área o de la zona geográfica, según (Gobernación Del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 2023) San Andrés posee un área de 27 [km<sup>2</sup>], dicha estandarización puede ser personalizada de acuerdo con las condiciones del área o teniendo en cuenta las necesidades comerciales de esta zona turística, esto no impediría la correcta comunicación entre los diferentes dispositivos.
- Es un modelo que evoluciona constantemente debido a que el acople de las nuevas tecnologías dentro de la antigua red eléctrica no posee restricciones que impida la fácil adecuación de nuevas tecnologías producto de nuevas investigaciones científicas y que permitan una mejora notable en la administración de los recursos de la red.

### 2.4.3 Modelo GridWise Architecture

Este modelo permite que las entidades que conforman la nueva red inteligente puedan ser automatizadas. El objetivo principal consiste en permitir la interoperabilidad entre entidades, para (The GridWise Architecture Council, 2008) la interoperabilidad ofrecida por este modelo cumple las siguientes características: intercambio de información entre los niveles organizacionales, comprensión de la información compartida, calidad en el servicio con datos fiables. Ahora bien, los sistemas al utilizar este modelo garantizan simplificar muchas de las actividades mediante el uso del sistema Plug and Play en donde solo se hace necesario la interconexión de los dispositivos y por tal motivo no requiere procesos de funcionamiento muy complicados. Ahora bien, este sistema propuesto de interoperabilidad se conforma por 8 niveles tal como se muestran la figura 2.3.



**Figura 2.3.** Modelo GridWise. Fuente: Categorías en capas de interoperabilidad (The GridWise Architecture Council, 2008)

De acuerdo con lo expuesto por la figura 2.3, cada uno de los niveles tiene un nivel de responsabilidad dentro de la interoperabilidad esperada, para (The GridWise Architecture Council, 2008) esto se puede resumir de la siguiente forma:

### 2.4.3.1 Aspectos técnicos

#### Conectividad básica

Esta categoría se centra en el intercambio de información que debe existir entre dos sistemas y la elección de una ruta fiable para dicho envío, para lo cual se debe acatar con las normas preestablecidas por el medio de transmisión de datos, así como las reglas de transmisión. Esto se consiguió manteniendo la capa física y de enlace de datos del modelo OSI. Es por ello que mantiene las mismas funciones como son, acceso al hardware, codificación de datos, y el establecimiento y desconexión de medios de transferencia.

#### Interoperabilidad de red

Esta categoría hace referencia al problema y solución del envío de mensajes a través de muchas redes de comunicación, durante este proceso se pueden derivar múltiples problemas derivados del transporte de datos, por lo que esta capa se encarga de abordar este tipo de inconvenientes. Las capas del modelo OSI que se incluyen en esta categoría son las capas de red, transporte, sesión y de aplicación. Durante el envío de la información

el protocolo es totalmente independiente de la información enviada. Se resaltan dos tipos de actividades: la primera en donde se realizará una especie de traducción lógica de las direcciones y los nombre a una dirección física. La segunda se ve reflejada en la solución de errores extremo a extremo que puedan presentarse, lo anterior permite obtener una transferencia de datos cada vez más fiable.

### **Interoperabilidad sintáctica**

En esta categoría se realizan los acuerdos necesarios para codificar la información transmitida e intercambiada entre las diferentes partes. Es aquí donde se establecen las estructuras y el formato de las codificaciones, se incluyen las capas de presentación y de aplicación del modelo OSI. Por ello se establecen funciones como por ejemplo realizar la traducción de un formato de caracteres a otro, como el realizado en los sistemas de computación cuando se transforma de binario a código ASCII. Otra de las funciones establecidas es la estructuración de los mensajes de un protocolo simple a uno de objetos, y por último el establecimiento de patrones de intercambio de mensajes.

#### **2.4.3.2 Aspectos informativos**

##### **Comprensión semántica**

Al igual que en nuestro lenguaje en donde la construcción de las palabras debe tener algún sentido, las interacciones que puedan realizarse entre las entidades que conforman el sistema eléctrico deben utilizar un lenguaje adecuado entre maquinas cumpliendo con reglas que hacen la comunicación coherente. Estas reglas entran dentro de lo que se conoce como comprensión semántica que rigen la definición de cosas, conceptos y su relación entre sí.

##### **Contexto empresarial**

En esta categoría se busca tomar el modelo de información y refinarlo de manera que sea relevante para el proceso de negocio que se esté realizando, se añaden restricciones que involucren las funciones de las entidades que se encuentran involucradas dentro de la interacción, además se incluyen las reglas que se deben tener durante el proceso, así como restricciones de ser necesarias durante el mismo. Como el proceso de comercialización necesita estar lo suficientemente claro, esta categoría se comporta como un puente que permite realizar la transformación semántica más general con las necesidades de los procedimientos comerciales específicos.

### **2.4.3.3 Aspectos organizativos**

#### **Procedimientos comerciales**

La empresa debe tener claro los compromisos que debe asumir con el proceso comercial, con la puesta en marcha de una nueva red de distribución energética las transacciones comerciales que hasta el momento podían ser realizadas en una forma sistemática debe cambiar a una forma dinámica. Por ejemplo, las respuestas a fallas deben incluir notificaciones a los usuarios y sus notificaciones deben ser tratadas de forma ágil.

#### **Objetivos de negocio**

Dentro de esta categoría se incluyen muchas características de procesos en donde se involucran diferentes interfaces de interacción con otras organizaciones, se estimula la sana competencia dentro de la industria entendiendo que la mejor manera es asociarse y competir de manera interoperable para mejorar la calidad del servicio prestado, así como su oferta.

#### **Política económica y regulatoria**

Para que una organización pueda seguir prosperando se debe tener en cuenta que las políticas regulatorias estatales proporcionen un entorno adecuado.

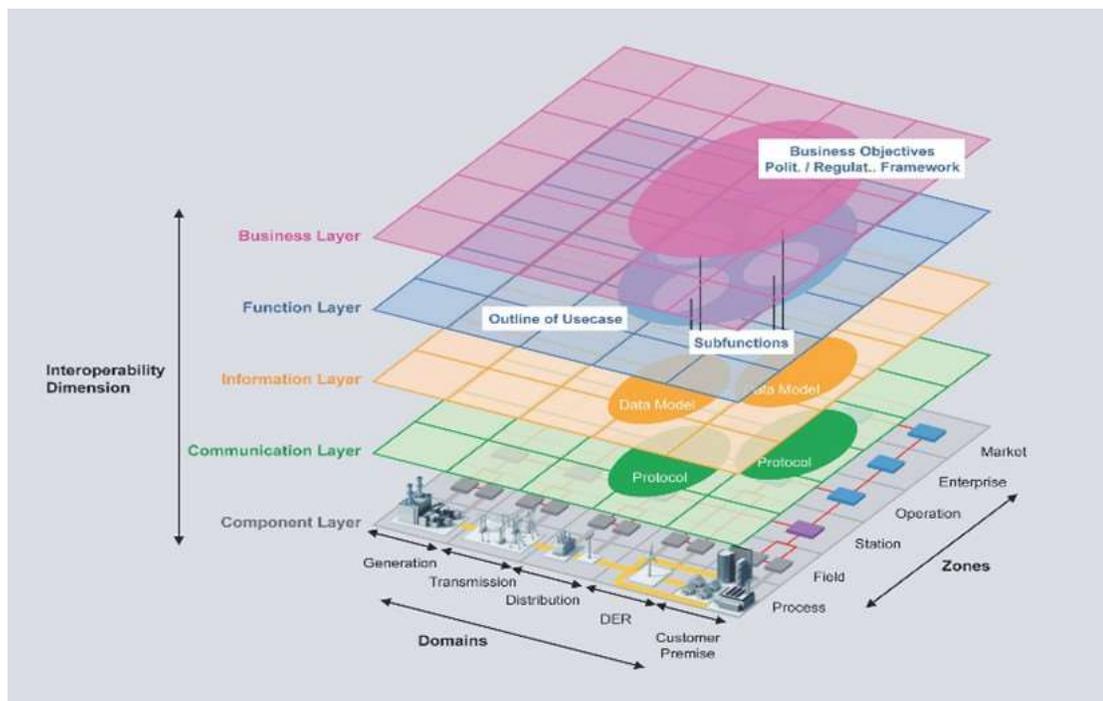
### **2.4.3.4 Beneficios**

1. La conectividad entre dos sistemas se utilizará manteniendo lo establecido por el modelo OSI preservando la capa física y de enlace de datos. Cuando se intercambie información de la red de distribución del BIGHT por ejemplo con cualquiera de sus circuitos, la información buscará una ruta fiable, se codificarán los datos, estableciendo la conexión y desconexión de dispositivos.
2. Permite una transferencia de datos más fiable. La red eléctrica de San Andrés cuenta con alimentaciones primarias conectadas en forma radial, aunque es una configuración muy sencilla si llegara a ocurrir algún tipo de fallo se desconectaría todo el circuito. De ahí la importancia de contar con datos pertinentes para la toma de decisiones. Este modelo mantiene las capas del modelo OSI de red, de transporte, sesión y de aplicación para este fin. El protocolo será totalmente independiente del mensaje

enviado, realizando la codificación de este, y solución de errores de extremo a extremo.

3. Presenta un contexto empresarial, es decir toma la información recibida proveniente de cada una de las capas y las refina a manera de que sirvan para la toma de decisiones, si aplicamos esto a la red de nuestras islas podríamos mejorar el sistema de distribución e impactar el mercado, esto gracias a la traducción semántica de los diferentes dispositivos involucrados que transforman la información y la adecuan a procesos comerciales específicos.
4. Las transacciones comerciales que son realizadas en una red tradicional en forma sistémica, pasan a convertirse en procesos dinámicos, es por ello que la implementación de este modelo no solo estará desde la perspectiva técnica, sino que también incluye un cambio de cultura organizacional dentro de la empresa otorgando a los usuarios un papel de mayor relevancia.

#### 2.4.4 Modelo SGAM



**Figura 2.4.** Representación del modelo SGAM. Fuente: Modelo SGAM (CCMC, 2014).

El modelo SGAM, analiza y visualiza las redes inteligentes desde la perspectiva de interoperabilidad, en donde establece modelos que puedan ser funcionales dentro del tiempo de uso, así como para futuras actualizaciones de la red. Para (CCMC, 2014) este modelo analiza las redes inteligentes desde un punto de vista neutral, utilizando principios

de universalidad, donde la localización y la flexibilidad del sistema son características fuertes del mismo. El modelo SGAM está conformado por dominios, zonas e interoperabilidad, los cuales están subdivididos a su vez en niveles y capas, tal como lo presenta la figura 2.4.

En la figura 2.4 se esquematiza las partes de un modelo SGAM, de lo anterior (CCMC, 2014) los describe de la siguiente forma en la figura 2.5.

Componente		Descripción	
Dominio	Nivel	Generación	Generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, plantas hidroeléctricas, plantas de energía nuclear, parques eólicos, plantas de energía solar fotovoltaica, usualmente conectadas al sistema de transmisión.
		Transmisión	Infraestructura y organización para transportar electricidad a amplias distancias.
		Distribución	Infraestructura y organización requerida para distribuir electricidad a usuarios.
		Recursos energéticos distribuidos	Recursos directamente conectados a la red de distribución pública, aplicando tecnologías para la generación de energía a pequeña escala (rango de 3 kW a 10 MW).
		Instalaciones para usuarios	Usuarios y productores de electricidad. Incluye instalaciones de tipo industrial, comercial y para el hogar.
Zona	Nivel	Mercado	Comercio de energía.
		Empresa	Procesos comerciales, organizacionales y de servicios e infraestructuras para empresas.
		Operación	Operación de los sistemas de: gestión de distribución, gestión energética, gestión de plantas virtuales, a través de la agrupación de DER y sistemas de gestión de carga para flotas de vehículos eléctricos (EV – Electric Vehicle).
		Estación	Datos del nivel campo para concentrar datos, agregar funcionalidades, automatizar subestaciones, implementar sistemas locales de supervisión y realizar control y adquisición de datos (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition).
		Campo	Equipos para protección, control y monitoreo del nivel proceso.
		Proceso	Transformación física y química de energía y de los equipos directamente involucrados.
Interoperabilidad	Capa	Negocio	Marco regulatorio, estructuras económicas y políticas, modelos de negocio, portafolio de negocios de mercados involucrados, capacidad de negocio y proyectos de negocio específico.
		Función	Representa la actividad de las empresas del sistema energético.
		Información	Tipo de información intercambiada entre funciones, servicios y componentes, incluyendo el registro y almacenamiento de datos.
		Comunicación	Protocolos y mecanismos para el intercambio de información entre componentes.
		Componente	Nivel físico del sistema eléctrico que incluye dispositivos, aplicaciones y equipos de protección, telecontrol e infraestructura asociada a redes y computadores.

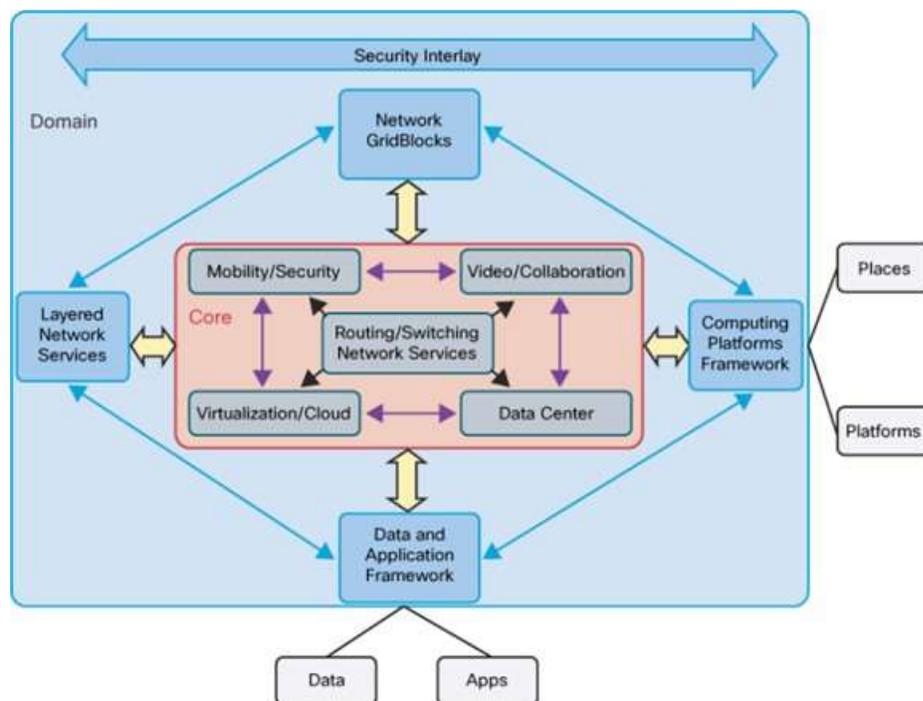
**Figura 2.5.** Cuadro de los componentes del modelo SGAM

#### 2.4.4.1 Beneficios

1. Es un modelo de arquitectura neutral, puede representar arquitecturas en forma sencilla. San Andrés Islas cuenta con una red que no cubre una extensión geográfica tan amplia, permitiría su fácil adaptación al modelo de redes inteligentes, así mismo las entidades luego de ubicadas dentro del plano y capa de red correspondiente tendrán una interacción sistémica.
2. Al ser un modelo por capas cada una está cubierta por una entidad apropiada, el modelo SGAM es flexible esto significa que permite la actualización de los sistemas a medida que la evolución de los sistemas tecnológicos aparezca.

3. Los dominios y zonas presentes en el modelo SGAM y posteriormente definidos para la creación de la nueva red, pueden ser ampliados, es decir se pueden añadir nuevos dominios y zonas de acuerdo con el requerimiento.

Este modelo es el punto de partida para la implementación de arquitecturas con aplicaciones específicas de red. Para (CISCO, 2012) las preocupaciones de las empresas de servicios público por actualizar sus redes, los llevan a implementar sistemas en los cuales se presentan problemas de interoperabilidad y de herramientas dispares. Los sistemas de comunicación deben ser integrados en toda la red de distribución de energía, la arquitectura consta de 5 conjuntos (Network GridBlocks, Layered Network Services, Computing Platforms Framework, Data and Application Framework, Security Interlay) tal como lo muestra la figura 2.6.



**Figura 2.6.** Modelo GridBlocks Architecture. Fuente: Cisco GridBlocks Architecture (CISCO, 2012).

#### 2.4.4.2 Beneficios

1. El modelo es flexible y modular, además de permitir incrementar la seguridad del sistema, al propiciar este aumento, permite que se acceda a la información con mucha fiabilidad dentro y fuera de la organización.
2. Sirve como punto de partida para las empresas de servicios públicos para desarrollar

mejoras a largo plazo, esto gracias a la posibilidad de quedar abierta para modernizaciones de red, que quieran ejecutarse por la organización en un futuro.

3. Presenta una amplia gama de solución de comunicaciones, esta debido a sus estándares abiertos, al ofrecer múltiples aplicaciones en una plataforma única.

## 2.4.5 Cuadro comparativo metodologías para la implementación de redes Smart Grids

A Continuación, en la figura 2.7 se elabora un cuadro donde se especifican algunas de las características de los modelos antes mencionados como son: Integración de TICS y DER, flexibilidad del modelo, resiliencia, estandarización y seguridad. con esto se busca tener una visión más clara del valor agregado que puede prestar cada uno de los diferentes enfoques, esto es al momento de ser implementados como arquitectura de referencia para la futura red Smart Grids de San Andrés islas. Ahora bien, se desea utilizar el modelo más practico que permita intercalar las operaciones de monitoreo y control en proceso de distribución de la energía a través de la planta generadora y en dirección a las sub-estaciones hasta los diferentes circuitos de clientes, así como la inserción de nuevas fuentes no convencionales de energía , teniendo en cuenta su generación y dejar abierta la posibilidad en un futuro de poder monitorear los excedentes que energía que produzca y por ultimo los puntos de carga de vehículos eléctricos.

	Objetivo	Integración TIC	Integración DER	Flexibilidad	Estandarización	Eficiencia energética	Resiliencia	Seguridad
<b>SGAM</b>	Descripción de arquitectura Smart Grids	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
<b>CISCO GridBlocks Architecture</b>	Arquitectura de referencia para redes eléctricas inteligentes.	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
<b>IEEE P2030</b>	Estándares para sistemas de energía eléctrica.	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
<b>GridWise Architecture</b>	Guía de modernización de redes.	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO

**Figura 2.7.** Comparación modelos de Arquitecturas. Nota: Se enumeran las características de cada uno de los modelos. Elaboración propia.

Así pues, el modelo SGAM es el elegido para realizar el diseño de la arquitectura

Smart Grids propuesta, aunque todos los modelos en general muestran casi las mismas características al momento de ser implementados, hay que destacar que el diseño debe considerar aspectos como el hecho de ser San Andrés Islas una zona no interconectada, lo que hace necesario un enfoque estandarizado, que facilite la interoperabilidad entre los diversos dispositivos de la red inteligente.

## 2.5 Regulación de las redes Smart Grids en Colombia

En relación con la implementación de redes inteligentes en Colombia, en la actualidad existen normas que promocionan la utilización de energía producida por fuentes no convencionales. Es importante aclarar que en lugares como, por ejemplo: estados unidos, Japón, Alemania entre otros, en donde la normatividad de la región incentiva económicamente este tipo de producción generada por los usuarios se han tenido grandes resultados en la disminución de combustible fósil. Estas han evolucionado con el tiempo y en Colombia existen entidades encargadas de realizar las respectivas regulaciones para su correcta utilización y aprovechamiento, como es el caso del ministerio de minas y energía y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). A continuación, se relacionan algunas de estas normas relevantes para la presente investigación:

- **Ley 1715 de 2014:** Esta ley promulga la eficiencia energética en el país, para ([Departamento Administrativo de la Función Pública, 2014](#)), esta ley tiene por objeto la promoción del uso de las fuentes no convencionales de energía, su sistema de almacenamiento, así como su utilización eficiente. El autor señala el fomento de la investigación e inversión en energías limpias. Además de establecer las líneas de acción que el gobierno nacional debe seguir para el cumplimiento de compromisos en esta área.
- **Resolución CREG 101-018 de 2023:** Esta resolución emitida por la CREG busca garantizar que los precios de la bolsa de energía reflejen condiciones de competencia entre los agentes y no se vean afectados por eventuales posiciones dominantes, de lo anterior (Comisión de Regulación de Energía y Gas ([Comisión de Regulación de Energía y Gas \(CREG\), 2023](#))) afirma que esta nueva reglamentación permite crear condiciones para garantizar una oferta energética que además de eficiente satisfaga la demanda teniendo en cuenta tanto criterios ambientales como sociales.
- **Artículo 1 de la Ley 855 de 2003:** ley mediante la cual se establece cuáles son las zonas no interconectadas, ([EL CONGRESO DE COLOMBIA, 2003](#)) afirma que son todas aquellas que no se encuentran interconectadas al sistema de interconexión nacional, como es el caso de la isla de San Andrés lugar en el cual se realizará la propuesta de monitoreo y control de red inteligente red inteligente.

- **Artículo 74 de la Ley 143 de 1994:** según ([Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2013](#)) esta ley permite a las empresas prestadoras de energía que se encuentren en Zonas no interconectadas, desarrollar actividades de generación y distribución eléctrica.

Por otro lado, la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética en Colombia) entidad en Colombia encargada de formular las políticas en el sector de la energía, ha establecido políticas en el sector energético referente a las redes inteligentes. En ([UPME, 2016b](#)) realiza un diagnóstico del marco regulatorio para redes inteligentes que impulsen en Colombia la apropiación de tecnologías de comunicaciones que fortalezcan aspectos como distribución, interoperabilidad y ciberseguridad.

Ahora bien, de la mano de estas regulaciones se establecen acciones de implementación de redes inteligentes con la correcta interacción entre los diferentes actores involucrados, como por ejemplo: empresa de servicios de energía, entidades gubernamentales y empresas de comunicaciones. Para ([UPME, 2016b](#)) no se ha establecido a la fecha de su estudio una relación de cooperación directa entre empresas de servicios públicos y entidades gubernamentales, aunque sí se ha presentado un gran avance con las empresas de telecomunicaciones. Esta posición por parte del autor refleja la poca disposición de diálogo entre las diferentes partes, priorizando la compra de redes de datos corporativas utilizadas para los sistemas de comunicación.

También, se debe salvaguardar los datos que serán compartidos por cada uno de los actores pertenecientes a la nueva red eléctrica inteligente, se deben tener normas que brinden este tipo de protección durante procesos tales como: recolección, procesamiento y transmisión de datos. Evitando la corrupción de estos y la divulgación no autorizada por parte de agentes externos. De acuerdo con el documento ([UPME, 2016b](#)) en Colombia se establecen un conjunto de normas y regulaciones que garantizan las actividades referentes al intercambio de información. La Tabla 2.1 muestra un resumen de las normas y regulaciones de mayor relevancia.

**Tabla 2.1.** Protección Datos del Consumidor. Normas y regulaciones para la protección de datos personales en redes inteligentes. (UPME, 2016b)

Constitución política de Colombia	Artículo 15: incluye dentro de los derechos fundamentales, el de intimidad personal y familiar, y el del buen nombre. Así como el derecho a conocer, actualizar y rectificar datos que han sido recogidos y están en bases de datos de entidades públicas y privadas.
Ley estatutaria 1266(2008)	Desarrolló el Derecho constitucional a que se refiere el artículo 15, así como el derecho a la información definida en el artículo 20 de la constitución referente a la información crediticia, financiera y comercial de servicios provenientes de terceros países. Con algunas excepciones como por ejemplo inteligencia del estado.
Ley estatutaria 1581(2012)	Conjunto de disposiciones generales para la protección de datos personales, a los que se refiere el Artículo 15 y el Artículo 20. Esta ley contiene definiciones importantes como son: autorización, base de datos, dato personal, encargado de tratamiento.
Decreto 1377(2013)	Expedida por la presidencia de la república, reglamenta la ley 1581 de 2012, como, por ejemplo, la recolección de datos deberá realizarse sólo con aquellos que sean pertinentes y adecuados para el fin que son requeridos, establecer procedimientos para solicitar a más tardar en el momento de la recolección la autorización del titular, se podrá revocar en cualquier momento la autorización permitida.
Resolución 038 de 2014	La comisión de regulación de energía y Gas (CREG) mediante esta resolución establece las condiciones técnicas y procedimientos que se aplican a la medición de la energía en los intercambios comerciales del sistema interconectado nacional (SIN). - Medidores principales y de respaldo deben contar con un sistema de protección de datos.

Igualmente, la interoperabilidad entre los nuevos y antiguos dispositivos posee reglamentaciones dentro del contexto de aplicación en el territorio colombiano, que garanticen la correcta puesta en marcha de la nueva red en cualquier parte del territorio nacional, en este caso la Isla de San Andrés. Es por ello que (UPME, 2016b) además de las enumeradas en la protección de datos, en lista un número de ellas para la interoperabilidad, como lo muestra la tabla 2.2:

**Tabla 2.2.** Interoperabilidad en Colombia. Normas y regulaciones para la interoperabilidad en redes inteligentes (UPME, 2016b)

Ley 1341 de 2009	Expedida por el congreso, establece que el estado intervendrá las tecnologías de información y las comunicaciones, para garantizar la interoperabilidad, se garantiza la libre adopción de tecnologías, reconociendo las recomendaciones de los organismos competentes internacionales.
Resolución 202 de 2010	El Mintic por recomendación de la ley 1341, define el significado de una red de telecomunicaciones, interoperabilidad e interconexión.
Resolución 3101 de 2011	Amplía la definición de interconexión dada en la resolución 202, indica que la interoperabilidad es la interacción entre redes, los proveedores deben establecer las condiciones necesarias para garantizar la interoperabilidad.
Norma NTC 6079 de 2014	Expedida por el Icontec, establece requisitos de tecnologías, protocolos y modelos de datos para garantizar la interoperabilidad. También indica los requisitos de seguridad para garantizar la confiabilidad, integridad y disponibilidad de la información.

Así mismo, la protección de datos informáticos debe tener en cuenta aquellas amenazas provenientes de la red, ejecutada por terceros que puedan poner en riesgo la integridad de la información producida. Dentro del documento (UPME, 2016b) se establecen las reglamentaciones pertinentes que en referencia a la ciberseguridad se aplican en Colombia, las cuales se relacionan en la tabla 2.3:

**Tabla 2.3.** Regulaciones de Ciberseguridad en Colombia. Normas y regulaciones para la Ciberseguridad en redes inteligentes en Colombia (UPME, 2016b)

Documento CONPES 3701	<ul style="list-style-type: none"> <li>Define la capacidad del estado para minimizar el nivel de riesgo al que están expuestos sus ciudadanos ante amenazas cibernéticas.</li> <li>Recomendó al gobierno implementar las siguientes instancias: - Grupo de respuesta a emergencias cibernéticas de Colombia (ColCERT). - Comando conjunto cibernético de las fuerzas militares (CCOC). - Centro cibernético policial (CCP).</li> </ul>
La ley 1273 de 2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>El congreso de la República, modificando el código penal colombiano, adicionando un nuevo Título VII BIS denominado "De la Protección de la información y de los datos".</li> </ul>
Guía de ciberseguridad (Acuerdo 788 consejo nacional de operación (CNO))	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los lineamientos para seleccionar por parte de los integrantes del sistema interconectado nacional la persona responsable para ejecutar esta guía.</li> <li>La persona escogida debe identificar los activos críticos, riesgos y vulnerabilidades.</li> </ul>

Finalmente, en el desarrollo de esta investigación se tendrán en cuenta regulaciones que velen por la protección del usuario, las mismas están relacionadas en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4.** Protección de los usuarios del servicio de comunicación. Normas y regulaciones para la Protección de los usuarios del servicio de comunicación (UPME, 2016b)

Resolución CRC 3066 de 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplica a las relaciones surgidas entre los prestadores de los servicios de comunicaciones y los usuarios.</li> <li>Indica que los proveedores deben garantizar los principios de confidencialidad, integridad y disponibilidad y la prestación de los servicios de seguridad de la información.</li> </ul>
Resolución CRC 3067 de 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se define los indicadores de calidad para los prestadores del servicio.</li> <li>Es modificada por la resolución CRC 4734 de 2015.</li> </ul>
Artículo 28 de la ley 143 de 1994	Las empresas que sean propietarias de líneas, subestaciones y equipos señalados como elementos de la red nacional de interconexión, mantendrán la propiedad de los mismos, pero deberán operarlos con sujeción al Reglamento de Operación y a los acuerdos adoptados por el Consejo Nacional de Operación.
Artículo 29 de la ley 143 de 1994	Indica entre otros que La conexión a la red nacional de interconexión de una red regional de transmisión, de una red de distribución, de una central de generación o de un usuario impone a los interesados Cumplir las normas técnicas que dicte el Ministerio de Minas y Energía.
Artículo 34 de la ley 143 de 1994	Establece que El Centro Nacional de Despacho deberá desempeñar ciñéndose a lo establecido en el Reglamento de Operación y en los acuerdos del Consejo Nacional de Operación.
Resolución CREG 038 de 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece las condiciones técnicas y procedimientos que se aplica al a condición de energía. - Intercambios comerciales en el sistema interconectado nacional. - Intercambios con otros países. - Transacciones entre agentes y las relaciones entre agentes y usuarios.</li> </ul>
Acuerdo 701 de 2014 (consejo nacional de operación (CON))	Relaciona las condiciones mínimas de seguridad para la transmisión de las lecturas, desde los medidores hasta el centro de gestión de medidas y entre este último y el administrador de intercambios comerciales (ASIC).

## 2.6 Resumen de los principales aspectos tomados del estado del arte

El análisis documental de estudios anteriores que abordan el tema de investigación propuesto fue centrado en dos aspectos claves: supervisión y monitoreo de redes eléctricas. Son de especial interés para este estudio la implementación en sitios con fuentes no convencionales de energía, donde no se cuente con un adecuado manejo de sus datos, ni tampoco de la información necesaria que garantice la eficiencia energética. Algunos aspectos claves a contemplar son: arquitecturas Smart Grids, interoperabilidad para Smart Grids, DER, Energía transactiva, arquitectura IoT y Blockchain. Lo anterior debido a la necesidad de diseñar un sistema de monitoreo de red eléctrica en la isla de San Andrés, que además sirva como fuente de conocimiento en la implementación de futuras tecnologías.

La actualización de las redes eléctricas también incluye la utilización de dispositivos que permitan modernizar la forma como se les hace seguimiento a los procesos de distribución mediante una comunicación bidireccional entre el proveedor y los usuarios. Para (Alaerjan, 2021), establece los inconvenientes al utilizar diversos componentes heterogéneos, además expone cómo las aplicaciones de los sistemas informáticos heterogéneas también dificultan la conectividad y el intercambio de información en los modelos de datos. El autor detalla las cualidades de operación de la capa de interoperabilidad dentro del enlace de estos dispositivos. Por lo tanto, la necesidad de mejorar la gestión energética impulsa el aprovechamiento del auge e implementación de nuevas tecnologías, mejorando mediante la utilización de nuevos dispositivos, incremento en las velocidades de transmisión de datos, así como su procesamiento. Esto convierte una red tradicional que utiliza sistemas tecnológicos simples en una red inteligente con mejores capacidades, como la integración de fuentes de energía limpia. Según (Jabr y Dzafic, 2022) las redes inteligentes presentan elementos como son sensores, así como aquellos computacionales que permiten generar altas velocidades con un tratamiento bidireccional de la información. Además, resalta la importancia de las nuevas tecnologías dentro de la distribución, estableciendo un estado del arte sólido respecto a arquitecturas de sistemas de gestión.

Durante la transición de una red tradicional a una red actualizada se debe considerar la implementación de diversos dispositivos. Esto puede representar un gran desafío debido a la integración de modelos de energías renovables dentro de la nueva red. (Essakiappan y cols., 2021) en su investigación aborda dos desafíos importantes como son la interoperabilidad entre los diversos componentes y los procedimientos necesarios para realizar la validación de la nueva red antes de su implementación. Estos procedimientos son: pruebas de hardware e integración de instalaciones de prueba, ambos procedimientos forman parte del desarrollo de un sistema de plataforma multisitio de evaluación que emplea Advanced Distribution Management Systems (ADMS).

En el diseño de las arquitecturas de red, es importante tener en cuenta las investigaciones que presentan de la red de distribución a la cual va a ser aplicada, los dispositivos empleados y las simulaciones necesarias para comprobar su funcionamiento. (Rodolfo, Tufiño, Josafat, y Zapata, 2015) en su investigación realiza un aporte significativo presentando estructuras que considera las precisas para alguna arquitectura de comunicación en redes Smart grids, como son: la medición, recolección, almacenamiento y gestión de las lecturas obtenidas, además, las simulaciones que realiza permiten crear un índice de valoración de los dispositivos que forman parte de esta.

Por otro lado, la supervisión y monitoreo es realizado mediante la implementación de software que puede cumplir con la tarea de administrar los recursos adheridos a la red. Según (Ramos et al., 2019) es posible realizar un sistema de monitoreo y supervisión que pueda ejecutar las tareas en una red inteligente a través de la utilización del lenguaje de programación Python. Para tal fin se administraron los datos obtenidos y almacenados en una base de datos SQLite con Zigbee como protocolo de intercomunicación de datos entre los diferentes nodos.

(Rosado, 2019) utiliza el protocolo Zigbee en su trabajo en donde propone una arquitectura de supervisión y monitoreo para Smart grids, con un diseño enfocado en una microrred aislada, simulando la transmisión de la información entre puntos distantes. Se utilizaron sensores de corriente y de voltaje. La información recolectada en una base de datos fue procesada por una interfaz gráfica diseñada en el software Labview, así como la utilización de gráficas y tablas para el análisis de la información.

El desarrollo que se ha venido suscitando en la adquisición de nuevas tecnologías que perfeccionan la distribución de energía a los hogares, ha transformado la manera en que los usuarios utilizan la energía eléctrica, siendo procesos más eficientes. La investigación de (Ramli y Bouchekara, 2020) estudia la programación óptima de la energía distribuida problema de recurso (OSDER), en donde el autor propone un algoritmo llamado búsqueda de vecindad variable, con el fin de gestionar los recursos de manera óptima. Así mismo (Shirzeh, Naghdy, Ciufo, y Ros, 2015) en su artículo presenta un sistema multiagente (MAS) en donde se establece nuevamente la responsabilidad de gestionar en forma correcta los recursos energéticos renovables y energía con sistemas de almacenamiento conectados a la red de distribución.

Continuando con la gestión eficiente de los recursos energéticos, cabe mencionar que una red inteligente permite reducir las pérdidas que producen un alto costo del servicio. Además, incluye sistemas de monitoreo para procesos de compra y venta de energía de manera eficaz. Para (Zia y cols., 2020), el concepto de prosumidor adicionalmente a la digitalización ofrece un desafío importante, en cuanto a la eficiencia energética que lleva a la perfección de la infraestructura tradicional y a optimizar los procesos de distribución de energía. Este artículo analiza los conceptos de energía transactiva, así como propone una

arquitectura de siete capas funcionales para el diseño del sistema de energía transactiva, permitiendo al consumidor ser el centro de un nuevo modelo de energía basadas en fuentes no convencionales.

De la misma forma, (Hu, Yang, Kok, Xue, y Bindner, 2017) reconoce estos nuevos desafíos, así como la importancia de la energía transactiva en la toma de decisiones. En su artículo hace una introducción a este concepto. Mediante la revisión de la literatura, que abarca temas relacionados con el control transactivo, apoyándose en proyectos de demostración e introduciendo casos de aplicación busca ilustrar de forma didáctica el marco transactivo. (Lezama y cols., 2019) afirma en su artículo el papel fundamental de las microrredes y las comunidades energéticas para equilibrar la generación y consumo a nivel local. Además, resalta la importancia de estos pequeños mercados hacia la transactividad.

De otro lado (Hojčková, Sandén, y Ahlborg, 2018), en su estudio analiza el rumbo que toma el sistema eléctrico, enfatizando en lo poco que se estudian los conjuntos más completos de elementos del sistema socio técnicos que sustentan futuros alternativos. Así mismo, su investigación se centra en tres aspectos principales como son: la superred, la Smart Grid y la off Grid. Así pues, el impacto que en la sociedad pueda generarse con la implementación de sistemas fotovoltaicos es positivo, aunque se puedan presentar fallas técnicas, y el nivel de producción dependa de las condiciones ambientales. (Howlader, Sadoyama, Roose, y Sepasi, 2018) en su investigación realiza un análisis de la variabilidad que se puede presentar en la red, al incluir paneles fotovoltaicos que inciden en la potencia de salida. Esto debe ser considerado como información pertinente al monitorear las potencias generadas por los pilotos en cada uno de los puntos de la nueva red.

Ahora bien, la implementación del concepto de redes eléctricas inteligentes en gran parte debe su desarrollo al concepto del internet de las cosas (IoT). La integración de objetos de la vida cotidiana y su uso desde internet ha permitido que este tipo de aplicaciones se extienda a las redes eléctricas tradicionales. Un ejemplo lo da (Zhong, Xiong, Zhong, y Ai, 2021) en su investigación donde propone una arquitectura lot, que, aunque aborda la implementación de tecnologías lot en ferrocarriles de alta velocidad (HSR) los pasos y los métodos para realizarla pueden servir de punto de partida para una arquitectura de red de monitoreo.

Del mismo modo, la investigación de (Priyadarshini, Bhola, Kumar, y So-In, 2022) propone una arquitectura física y lógica IoT (Internet de las cosas), considerando a los agentes involucrados como: el público, proveedor de nube, red empresarial, estación terrestre y comunicación. El enfoque de la publicación está dirigido hacia la investigación espacial. Aquí, el autor da pautas que pueden servir en futuras investigaciones de diversas áreas como son la medicina, la ingeniería, las comunicaciones. Para esta investigación permite analizar como las Diversas aplicaciones y nuevas tecnologías que cubren el desarrollo de las arquitecturas lot pueden ser integradas en la nueva red Smart Grids.

Otro aspecto fundamental en el desarrollo de proyectos Smart grids es la seguridad en los

registros de cada una de las transacciones que se realizan, esto gracias al libro de registros que se obtiene de la tecnología blockchain. Para (Stefan, Zehetbauer, Cejka, Zeilinger, y Taljan, 2020) las comunidades energéticas son el futuro de la transición energética, muestra el proyecto Blockchain Grid que se basa en fuentes de energías renovables para una comunidad basada en tecnología Blockchain. Así mismo, para (Saxena, Farag, Brookson, Turesson, y Kim, 2021) los sistemas de comercio de energía residencial RETS, permiten a los usuarios ingresar a mercados virtuales de energía. El autor desarrolla un RETS basado en blockchain, teniendo como resultado un propietario de vivienda con la capacidad de poder seleccionar aquellas estrategias de licitación que puedan considerar. Aportando a la presente investigación conocimientos que sirven para analizar el efecto de integrar soluciones basadas en Blockchain en arquitecturas Smart Grids.

En la actualidad, las redes eléctricas convencionales no tienen la infraestructura adecuada para realizar labores de monitoreo debido a que en su instalación inicial no se tuvo en cuenta la posibilidad de intercambio de información hacia la central eléctrica. Sin embargo, una actualización y utilización de hardware y software dedicado posibilita labores de monitoreo sobre este tipo de redes eléctricas. Como lo señala (Ramos, Areu, Carlos, y Freire, 2019): "Las características más notables de las redes eléctricas anteriores o tradicionales son un flujo mono direccional de la energía hacia el consumidor, con grandes centros o plantas generadoras de energía y una infraestructura no integrada a través de las comunicaciones". De lo anterior, los autores realizan su investigación en la aplicación de un sistema de red inteligente a redes que no son tan avanzadas, Dando un documento que ofrece consideraciones esenciales para el diseño de una arquitectura Smart Grids que sea compatible con la antigua estructura eléctrica.

Así mismo, los estándares utilizados en el monitoreo de las diferentes fuentes que componen la distribución de energía han sido actualizados buscando mejorar factores de comunicación claves al momento de implementar un control, mejorando así el nivel de eficiencia energética prestado. (Johnson, Fox, Kaur, y Anandan, 2021) señala la actualización que el estándar IEEE 1547 sufrió en el año 2018, con el fin de incluir la interoperabilidad de forma estandarizada, permitiendo que las empresas de servicios públicos interactúen con estas interfaces de forma remota para conseguir información clave proveniente de la placa de identificación, medidas de potencia, así como alarmas e información para configurar y dar soporte de red.

La implementación de nuevas redes inteligentes va de la mano de las políticas que para tal fin dispongan los entes regionales que tengan jurisdicción. Esto incluye la adopción de estándares y reglamentos para aprovechar su máximo beneficio. Para (Veichtlbauer, Langthaler, Andrén, Kasberger, y Strasser, 2021) el modelo SGAM permite hacer frente a los retos debido al cambio, ya que las tecnologías relacionadas con las redes de distribución eléctrica se encuentran en estos momentos en evolución constante, de lo anterior el

crecimiento de las necesidades de la población y de suplir el combustible fósil dañino para el medio ambiente requiere de una estructura clara, con procesos definidos para facilitar el proceso energético.

Por otro lado, las investigaciones realizadas en este campo han permitido adaptar sistemas de potencia, los cuales se integran perfectamente a sistemas de distribución hasta el punto de abarcar otro tipo de complementos como es el transporte eléctrico. Para (Buticchi y cols., 2021), el desarrollo de los sistemas de energía renovable ha logrado converger de forma en que se ha vuelto punto principal en el diseño de futuras redes de distribución eléctrica además de impactar en el sector automotor, esto gracias al apoyo tecnológico que ha recibido en los últimos años y al ser un punto de estudio académico muy atractivo en las universidades.

### **3. Metodología Para el diseño de la propuesta de arquitectura y monitoreo Smart Grids en la isla de San Andrés.**

Esta propuesta tendrá un carácter descriptivo, como lo afirma ([Hernández y Mendoza, 2018](#)) “las investigaciones descriptivas son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación”. De lo anterior, la intención de esta investigación es diseñar una propuesta de monitoreo para administrar en tiempo real el comportamiento de los diferentes componentes que conforman una arquitectura Smart Grids enfocada en la isla de San Andrés Islas.

Así mismo, basándonos en ([Schenke y Pérez, 2018](#)) que aunque en su nota de investigación caracteriza la perspectiva cualitativa como enfoque metodológico, dando como resultado un trabajo teórico con alcance descriptivo, diferenciando las técnicas cualitativas y cuantitativas de una investigación científica, de lo anterior esta propuesta será cuantitativa debido a la recolección de los datos necesarios para la toma de decisiones y a su análisis para poder determinar el comportamiento de diversos dispositivos y tecnologías de información que permitan el diseño de una nueva arquitectura basada en el estudio de las características principales de diversos modelos, analizando cual hipotéticamente tendrá un mejor desempeño para implementarse en la presente propuesta.

La población objeto de estudio es la red de producción, transmisión y distribución de energía eléctrica presente en la isla de San Andrés, en donde se espera dejar un documento que sirva como pieza fundamental en el diseño de una arquitectura de monitoreo para una red inteligente. Las técnicas e instrumentos se dan gracias a la información contenida en documentos referentes a la red eléctrica de las islas, así como informes e investigaciones en el tema, que se encuentren en la web y que sean de dominio público, esta información permitirá realizar un caso de uso con los requerimientos, actividades y funcionalidades necesarias en la nueva red, figura 3.8.



Figura 3.8. Etapas Investigación.

### 1. Fase 1: Inspección.

En esta fase se recopiló todo el material bibliográfico disponible referente a la red eléctrica de San Andrés Islas como son: Informes técnicos, boletines informativos por parte de las entidades correspondientes e investigaciones anteriores referentes al tema en cuestión. Esto con el fin de tener un punto de partida. Se definen y reconocen elementos de la red actual, relacionándolos en una matriz DOFA en donde se visualiza la situación actual de la red.

### 2. Fase 2: Estudio de Arquitecturas.

En esta fase se analizará material bibliográfico de arquitecturas Smart Grids. Se espera durante el desarrollo de esta establecer las normas y principios de diseño. Además, dejar claro los elementos, sus propiedades, los estándares, protocolos. Así como factores de interoperabilidad y ciberseguridad en las mismas. Al final de este se espera tener un cuadro comparativo con cada una de las diferentes modelos y con el mismo se espera escoger el más adecuado para la propuesta.

### 3. Fase 3 Estudio caso de uso.

En esta etapa se busca tener una visión general de la implementación de redes

inteligentes, mediante la utilización de un caso de uso, el cual es una técnica que permite definir los actores involucrados dentro del proceso de monitoreo y control centrándonos en los procesos de interoperabilidad dentro de la red, así como las tecnologías de ciberseguridad, actores involucrados durante el proceso eléctrico, escenarios de situaciones reales que puedan presentarse durante el proceso de monitoreo y control, tipos de datos intercambiados, protocolos utilizados, análisis de rendimiento. En general se contextualiza la investigación permitiendo respaldar la metodología escogida para el diseño de la arquitectura.

#### **4. Fase 4 Diseño de Arquitectura.**

En esta fase se busca, mediante los datos obtenidos en fases previas, la creación de la arquitectura de acuerdo con las necesidades detectadas en la red de San Andrés Islas, esto mediante la información obtenida en las fases previas como son:

- Cuadro comparativo Modelos de Arquitectura Smart Grids. (Fase1)
- Casos de Uso. (Fase 2)
- Modelo SGAM Integrado. (Fase 3)

De lo anterior, se estructuran las capas de acuerdo con los componentes de la nueva red inteligente y mediante el diseño de una metodología Relacionar los procesos de intercambio de información entre cada uno de ellos. Al finalizar se tendrá un modelo de capas que representará la nueva red de monitoreo y control smart grids.

## 4. Casos de Uso para el Monitoreo y supervisión de una Smart Grids en la isla de San Andrés.

El presente capítulo desarrolla la metodología de estudio de caso que contribuye en la gestión del monitoreo y supervisión de un sistema basado en el modelo de Smart Grid describiendo las funcionalidades de este. Al considerar una actualización de cualquier red, se debe considerar los requisitos que el nuevo sistema tendrá junto a las posibles interacciones que se presenten, así como los futuros escenarios. A continuación, se desarrolla el estudio de caso según lo descrito en la norma IEC/-PAS 62559, que en (Gottschalk, Uslar, y Delfs, 2017) establece que para la gestión de proyectos de Smart Grid es importante describir los casos de uso y sus funcionalidades de acuerdo a la estructura SGAM (Smart Grid Architecture Model). Esta configuración agrupa en 8 secciones básicas la estructura general de un caso de uso para describir de forma general una aproximación a un modelo SGAM. La tabla 4.5 resume las secciones generales del caso de uso de acuerdo a (Gottschalk, Uslar, y Delfs, 2017).

**Tabla 4.5.** Secciones del caso de uso según estándar IEC 62559

ID	Secciones	Secciones
a	<b>Descripción caso de uso</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nombre del caso de uso</li><li>- Objetivos y alcances</li><li>- Narrativa</li><li>- Indicadores de rendimiento (KPI)</li><li>- Condiciones</li></ul>
b	<b>Diagramas de casos de uso</b>	
c	<b>Detalles técnicos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Actores</li></ul>
d	<b>Análisis paso a paso del caso de uso</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Escenarios</li></ul>
e	<b>Información intercambiada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Información intercambiada</li><li>- Estándares</li></ul>
f	<b>Requisitos</b>	
g	<b>Términos y definiciones comunes</b>	
h	<b>Información personalizada</b>	

Los ítems a, b, c, d, e son los seleccionados para estructurar los casos de uso propuestos

a ser desarrollados en este proyecto. Se considera que estas secciones resumen la información mínima necesaria para que cada caso de uso propuesto sea concreto en la información que se presente. Además, el estándar IEC 62559 solo propone las secciones listadas en la tabla 4.5 como una recomendación de los apartados a tener en cuenta y no como obligatorio. También aclara que cada caso de uso se compone por un esquema muy particular que lo define las condiciones propias del caso. Así se evita extender e incluir información adicional que podría incrementar la complejidad y reducir la claridad de cada aplicación debido a que se trabajarán un total de 4 casos de uso que poseen múltiples relaciones entre sí. Ahora bien, los casos de uso a proponer se relacionan entre sí, estructurando un esquema que permite integrar componentes de monitoreo de estado de la red, carga de movilidad eléctrica, integración de las DER y consumo energético, contribuyendo a la eficiencia energética. Para tal fin, se usa la relación de inclusión. En (BinaryTerms, 2022) es explicada que la relación de inclusión modela los casos de uso cuando un caso de uso incluye la secuencia de comportamiento de otro caso de uso, esta afirmación por parte del autor se puede entender como si se estuviera planteando un conjunto de subrutinas, iguales a las utilizadas en un programa de computación. Cada que un caso de usos este incluido en otro se utiliza una flecha y se debe agregar la palabra incluido, como lo explica el diagrama de la figura 4.9:

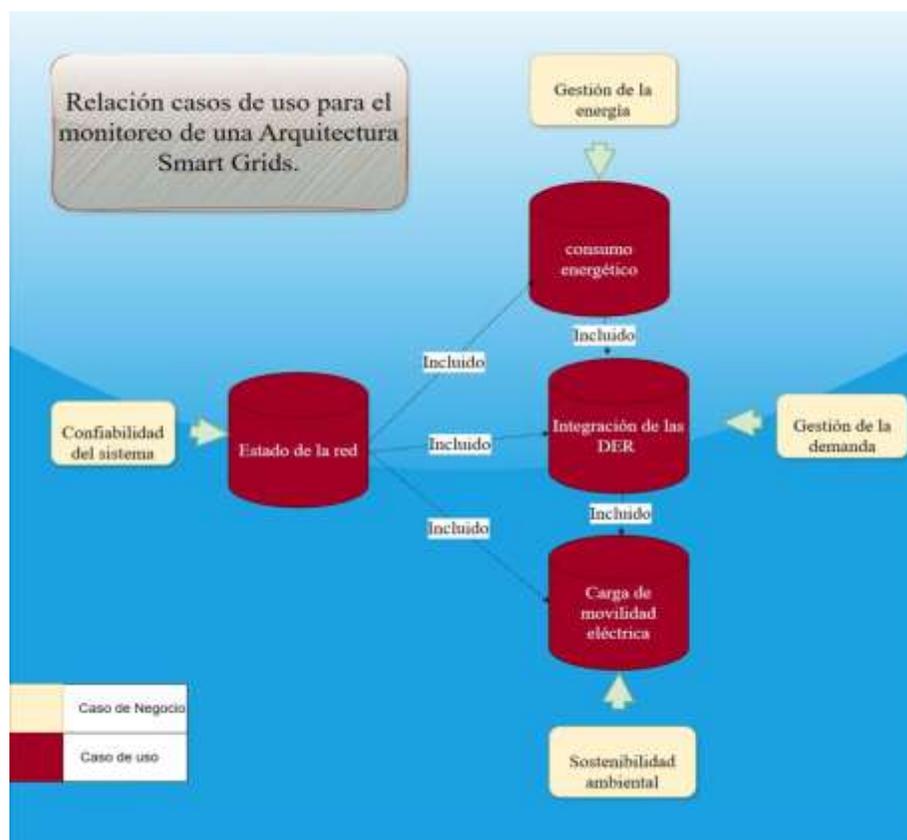


Figura 4.9. Relación entre los casos de uso

De la figura 4.9, se establece que para el diseño de la respectiva arquitectura de monitoreo Smart Grid se tendrán cuatro casos de negocio, para (Gottschalk y cols., 2017) la construcción de casos de uso generalmente se basa en un caso de negocio abstracto sin detalles técnicos, esto debido a que al construirlos se necesita asegurar que se describan los objetivos del negocio en diferentes capas de granularidad. La tabla 4.6 presenta la relación entre los objetivos de negocio y los casos de uso propuestos para elaborar una arquitectura Smart Grid enfocada en los conceptos clave de interoperabilidad y ciberseguridad.

**Tabla 4.6.** Relación entre Objetivos de negocio y casos de uso

ID	Caso de negocio	Caso de uso relacionado	Objetivos de negocio
1	Confiabilidad del sistema	Estado de la red	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección y respuesta rápida a fallas en el sistema eléctrico.</li> <li>• Estabilidad del sistema eléctrico con y sin fuentes de energía renovable distribuida.</li> <li>• Control del equilibrio sobre la generación y demanda de energía eléctrica.</li> <li>• Seguridad en el tratamiento, transmisión, almacenamiento y uso de la información.</li> <li>• Monitoreo de sistemas de fuentes no convencionales de energía.</li> </ul>
2	Gestión de la energía	Consumo energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control del equilibrio sobre la generación y demanda de energía eléctrica.</li> <li>• Estabilidad del sistema eléctrico con y sin fuentes de energía renovable distribuida.</li> <li>• Establecer sistemas de almacenamiento de energía.</li> <li>• Correcto despacho y monitorización de la distribución eléctrica desde y hacia el cliente.</li> </ul>
3	Gestión de la demanda	Integración de las DER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad del sistema eléctrico al agregar fuentes de energía renovable.</li> <li>• Establecer sistemas de almacenamiento de energía.</li> <li>• Reducción eficiente de las tarifas eléctricas.</li> <li>• Balance de picos altos de demanda en momentos determinados.</li> </ul>
4	Sostenibilidad ambiental	Carga de movilidad eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer sistemas de almacenamiento de energía.</li> <li>• Monitoreo de sistemas de carga de fuentes no convencionales de energía.</li> <li>• Incrementar el uso de la movilidad eléctrica.</li> <li>• Reducir la huella de carbono.</li> </ul>

La figura 4.9 ilustra las relaciones que existen entre los 4 casos de uso propuestos. Estas relaciones se aclaran y amplían en la tabla 4.6 en la que se puede observar que algunos de los objetivos de negocio que respaldan cada uno de los diferentes casos de uso son iguales, esto debido a la cualidad sistémica que se tiene en este tipo de arquitecturas, en donde algunos casos de uso son complementados con otros, con el fin de poder dar cumplimiento

a sus objetivos. Así los casos de negocios son definidos uno a uno describiendo su relación con cada caso de uso propuesto.

**Confiabilidad del sistema:** este caso de negocio se incluye en el caso de negocio de Gestión de la energía; ambos casos de negocio comparten un objetivo de negocio como es el control del equilibrio sobre la generación y demanda de energía eléctrica. Este item es de vital importancia debido a que contempla desde dos puntos de trabajo el responder y atender las demandas eléctricas de la población buscando preservar el equilibrio con el potencial generado. Además, se busca gestionar el apoyo brindado por las diferentes fuentes de energía renovable distribuida que puedan ser inyectadas al sistema eléctrico principal. La gestión de este tipo de sistemas debe enfocarse en mantener la estabilidad de la red por el incremento gradual de los proyectos de energía distribuida que podrían ser añadidos a la red eléctrica principal.

El caso de negocio de confiabilidad del sistema se relaciona con el caso de uso estado de la red debido a que el caso de uso tiene como premisa monitorear el servicio energético para conocer en detalle el comportamiento en tiempo real del sistema y gestionar los recursos energéticos eficientemente. Aquí, la inclusión de actores que supervisen los diferentes recursos energéticos presentes en la nueva red es de gran importancia porque buscan asegurar un correcto funcionamiento del sistema y alertan sobre las posibles fallas que se puedan presentar para ser resueltas en el menor tiempo posible minimizando los impactos de la falla en el sistema y en el consumidor.

Así mismo, se incluye en el caso de negocio de Gestión de la demanda, en donde se comparte el objetivo de negocio de Estabilidad del sistema eléctrico al agregar fuentes de energía renovable. El caso de uso estado de la red permite realizar un monitoreo de la variabilidad de la carga dentro de la misma, garantizando la correcta inclusión de energías provenientes de fuentes no convencionales manteniendo una red eléctrica confiable. Esto se logra mediante la implementación de actores que permitan monitorear y controlar en tiempo real los procesos de generación y demanda del servicio eléctrico. Finalmente, se encuentra incluido también en el caso de negocio de Sostenibilidad ambiental, debido a que comparten el objetivo de negocio de monitoreo de sistemas de carga con fuentes no convencionales de energía. Aquí, es relevante la inclusión de actores que den respuesta rápida a fallas provenientes de los diferentes sistemas de carga de movilidad eléctrica, extendiendo su dominio a las nuevas topologías de redes emergentes.

**Gestión de la energía:** Este caso de negocio se incluye dentro del caso de negocio de Gestión de la demanda a través de su caso de uso consumo energético, el cual busca garantizar que las nuevas formas de generación de energía disponibles se integren a la red principal sin desestabilizar a esta. Aquí se relacionan todos los recursos energéticos producidos de las nuevas fuentes no convencionales y de la producción estándar. Se relacionan los actores relevantes en la generación, distribución y demanda, para que el proceso gestione una correcta distribución de recursos energéticos de acuerdo con la

necesidad de los usuarios.

La evaluación del correcto despacho y distribución de los recursos energéticos debe ser asegurada por el sistema de monitorización. Este debe cubrir todas las etapas desde la generación hasta la distribución del recurso a los diferentes tipos de usuarios. Esa cobertura permite monitorear el estado real de cada etapa en tiempo real, lo que facilitará gestionar el recurso en condiciones normales de funcionamiento y frente a posibles fallas. En este último caso, se pretende que el monitoreo continuo posibilite prevenir y responder con eficacia a los inconvenientes presentados en el servicio.

Este apartado también relaciona la utilidad que representan los sistemas de almacenamiento. En especial, la flexibilidad en momentos de picos de demanda para convertirse en herramientas auxiliares de apoyo que equilibren el sistema.

**Gestión de la demanda:** Este caso de negocio se centra en la utilización de un caso de uso que integra las fuentes de energía distribuidas a la red principal. Su enfoque es brindar confiabilidad en el servicio para responder a las necesidades de los diferentes usuarios que la isla de San Andrés puede tener. En general, se desea cubrir las necesidades de usuarios de tipo residencial y comercial que prevalecen en la isla. Aquí las diferentes fuentes de energía distribuida juegan un papel fundamental porque su integración a la red eléctrica principal robustece el sistema, especialmente para enfrentar las exigencias en los horarios pico de demanda. Aunque la diversificación de la matriz energética del sistema en la etapa de generación puede traer retos al momento de su integración, los beneficios son mayores debido a que robustece el sistema para atender a los usuarios de forma adecuada. Aquí se debe contar con la variación natural de las fuentes distribuidas para asegurar un buen funcionamiento del sistema, aún en los horarios de demanda pico.

La planificación en la gestión de la demanda también se enfocan en impactar de manera positiva las tarifas del servicio de electricidad. Básicamente se buscan reducciones de costos en la generación de la energía debido a la integración de fuentes renovables, lo que a largo plazo puede significar reducir los costos del servicio del lado del cliente.

Finalmente, es de resaltar que uno de los objetivos principales del caso de negocio gira entorno a la correcta integración de las nuevas fuentes de generación que permitan responder principalmente a los momentos de altas exigencias buscando aplanar los picos de demanda del servicio.

Este caso de negocio tiene una relación de inclusión dentro del caso de negocio de Sostenibilidad ambiental, a través de su caso de uso Integración de las DER, en donde la generación de nuevas fuentes no convencionales de energía permite pensar en el aprovechamiento en sistemas de carga para la movilidad eléctrica. Este tipo de acciones tiene un mejor contexto al momento de desarrollar el caso de negocio de Sostenibilidad ambiental en donde se tiene mayor claridad de sus aportes.

**Sostenibilidad ambiental:** Finalmente, el caso de negocio de sostenibilidad ambiental está

centrado en las buenas practicas que buscan promover el cuidado del medio ambiente. Su enfoque principal consiste en integrar tecnologías de movilidad eléctrica promoviendo la utilización de vehículos eléctricos alimentados por los diferentes pilotos de energía DER. El principal objetivo de este caso de negocio es reducir la utilización de combustible fósil que genera emisiones de gases contaminantes perjudiciales para los habitantes y el medio ambiente de la isla de San Andrés. Las nuevas tecnologías juegan un rol importante para la implementación de nuevas estaciones de carga de vehículos eléctricos. La activación y expansión de este tipo de sistemas de recarga busca fomentar el uso de esta clase de vehículos en la isla. Un aspecto importante que valida el uso de esta tecnología son los trayectos cortos dentro de la isla. Este escenario demuestra que los vehículos eléctricos pueden llegar a tener una autonomía admisible de acuerdo a las condiciones del territorio. Actualmente, la isla de San Andrés se encuentra en proceso de implementar diferentes proyectos piloto de energías solares, pero para que se pueda contar con sistemas de cargabilidad eléctrica se debe maximizar el número de pilotos de fuentes de energías no convencionales e incentivar a las instituciones de la isla a crear proyectos que involucren la movilidad eléctrica.

El caso de negocio sostenibilidad ambiental no solo impacta el ambiente en la reducción de gases contaminantes, se podría establecer beneficios sociales como son el fomento de las buenas prácticas energéticas que mejoren la eficiencia de la nueva red eléctrica de San Andrés islas. El aumento significativo de mini productores de energías alternativas se convierte en una alternativa muy rentable frente al aumento del precio del combustible que afecta los bolsillos de la población san andresana. Luego de tomar en cuenta los cuatro casos de negocio, se abordaran los casos de uso que tengan que ver con los casos de negocio confiabilidad del sistema, Gestión de la energía y Gestión de la demanda, sobre el caso de negocio sostenibilidad ambiental, esto debido a que para la propuesta de diseño de arquitectura de monitoreo, estos casos son más relevantes para alcanzar los objetivos propuestos, aunque procesos como el de las cargas DER Y la movilidad eléctrica serán incluidos.

#### **4.1 Caso de Uso: Estado de la red**

El caso de uso estado de la red eléctrica integra diferentes aspectos como son tecnología, consumo, gestión energética y sostenibilidad ambiental buscando transformar e incrementar la eficiencia energética de la red eléctrica. La isla de San Andrés ha dependido de la utilización de combustible fósil para la generación de energía eléctrica. Este es ingresado a la isla por vía marítima, lo que aumenta los costos de la utilización de la energía. En un mundo globalizado en donde la integración de nuevas tecnologías y sistemas de información permanecen en constante evolución buscando incrementar la eficiencia de productos y

servicios mediante la automatización y monitorización de cada uno de los procesos, las redes eléctricas no pueden ser ajenas a este tipo de innovación.

Este caso de uso se centra en monitorear la red eléctrica de la isla de San Andrés, desde el proceso de generación, distribución, consumo, integración de fuentes no convencionales y sistemas de cargabilidad de movilidad eléctrica. Así, se evidencia la necesidad de establecer mecanismos adecuados para el tratamiento de la información, desde la recopilación de datos de cada uno de los dispositivos hasta su transmisión y almacenamiento para su utilización en la entrega de informes de estado, adecuados a los diferentes actores que la integran.

### 4.1.1 Descripción general caso de uso

#### 4.1.1.1 Identificación del caso de Uso

En este ítem se establece el nombre del caso de uso estado de la red eléctrica de San Andrés isla centrado en la detección de fallas, así como la identificación del proyecto, y los dominios y zonas que abarca, para nuestro caso de uso los dominios y zonas serán todas las del modelo SGAM, el caso de uso buscar permitir monitorear el estado de la red eléctrica desde los procesos de generación hasta le proceso de clientes.

Identificación Caso de Uso		
ID	Área Dominio(s)/Zona(s)	Nombre del caso de uso
Proyecto-UNAL-SAI-01	SGAM.dominios/SGAM.zonas	Estado de la red: Detección de fallas

#### 4.1.1.2 Alcance y objetivos del caso de uso

En esta sección, se busca delimitar nuestra propuesta de arquitectura de monitoreo de estado de la red, que en nuestro caso es todo lo concerniente a la red eléctrica de san Andrés islas, desde el proceso de generación en punta Evans, pasando por los futuros proyectos pilotos de energías renovables, hasta la distribución a usuarios residenciales, se establecen cuáles son las tareas para ejecutar la verificación de estado de la red, así como los objetivos y los casos de negocio A los que el caso de uso está relacionado, Tabla4.7.

**Tabla 4.7.** Alcance y objetivos del caso de uso

<b>Alcance y objetivos del caso de uso</b>	
Alcance	Las nuevas redes inteligentes transforman y mejoran la eficiencia de sus procesos eléctricos mediante el uso de diferentes tecnologías y medios de comunicación que permiten su monitoreo en tiempo real. La verificación del estado de la red incluye tareas como: verificar el estado de componentes (tales como son transformadores), estado de la línea, monitorear el consumo energético de los usuarios, validar la integración a la red de energía provenientes de fuentes no convencionales. Para estas actividades se utilizan sistemas de sensores y tecnologías inteligentes para dar fiabilidad al sistema revisando en tiempo real el correcto funcionamiento de todos los elementos que componen la red y al mismo tiempo generando alertas en caso de fallas. El diseño de un sistema de detección de fallas en donde sus actores no se integren de forma coordinada puede influir notablemente en la eficiencia de la red.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección y respuesta rápida a fallas en el sistema eléctrico.</li> <li>- Estabilidad del sistema eléctrico al introducir fuentes de energía renovable.</li> <li>- Control sobre la demanda de energía eléctrica.</li> <li>- Seguridad en el tratamiento de la información que responda eficientemente a fallas en la transmisión de la información y posibles ataques cibernéticos.</li> <li>- Monitoreo de sistemas de recarga eléctrica basados en fuentes no convencionales de energía.</li> </ul>
Casos de negocio relacionados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de la energía</li> <li>- Gestión de la demanda</li> <li>- Sostenibilidad ambiental</li> </ul>

#### 4.1.1.3 Narrativa del caso de uso estado de la red

A continuación, se describe que aporte da este caso de uso para la detección del estado de la red para un sistema eléctrico como el de San Andrés islas, el cual se encuentra en un proceso de cambio, en donde muchos sectores aún se encuentran utilizando medidores análogos, y al ser una zona no interconectada, se pueden llegar a tener dificultades en actividades como el mantenimiento de redes eléctricas al no contar con sistemas de información que permitan la automatización de estos procesos, se busca con este ítem dejar en forma clara y fácil de interpretar por cualquier operario la forma de operar de un sistema de detección de fallas Smart grids, tabla 4.8.

**Tabla 4.8.** Narrativa del caso de uso

<b>Narrativa del caso de uso</b>
<b>Descripción Corta</b>
<p>Un sistema de monitoreo del estado de la red permite la detección de fallas en una red de distribución eléctrica incrementando la robustez y confiabilidad del sistema, dando alertas y respuestas rápidas a problemas presentes en la generación, distribución, o cargas en la red que pueden ser originados por daños provenientes de terceros, ataques cibernéticos que contaminen la información y problemas de interoperabilidad entre los equipos. Se hace necesario crear una arquitectura basada en el modelo SGAM que integre y actualice los dispositivos de la red tradicional con nuevas tecnologías impactando de manera positiva la isla de San Andrés.</p>
<b>Descripción Extensa</b>
<p>Las fallas que pueden presentarse durante el proceso energético son diversas y con alta probabilidad de suceso. San Andrés Islas al ser una zona no interconectada presenta cierta vulnerabilidad en su servicio eléctrico. Por lo cual se hace necesario implementar una arquitectura que logre monitorear en tiempo real cada una de las actividades de su red eléctrica. Un sistema de monitoreo en una red Smart Grid, como la que se propone en este estudio, deberá ser capaz de administrar las tecnologías de respuesta inmediata ante señales de fallas en cualquier espacio de tiempo, como son: sobrecargas, caída de tensión, cortocircuitos y problemas de aislamiento de conductores. Ahora bien, es importante que el sistema de monitoreo sea capaz de detectar cualquier tipo de falla por mas pequeña que esta sea, garantizando una alta precisión en sus señales, sin incurrir en falsas alarmas. El sistema de detección de fallas de una red eléctrica se compone de diversos dispositivos como son sensores que recogen la información de campo y de tecnologías de información que analizan y procesan estas señales para generar informes del estado de la red.</p> <p>Durante el proceso de generación, transformación y distribución se pueden tener varios escenarios de funcionamiento, desde la operación normal hasta los múltiples casos de problemas debido fallas o problemas propios del sistema, así como los causados por fenómenos ambientales. Por ejemplo, en la distribución de la energía se pueden presentar aumentos de voltaje de manera repentina produciendo averías que van desde dispositivos electrónicos dañados, hasta accidentes producto de choques eléctricos en personas. Cuando se ejecuta el proceso de distribución automáticamente el sistema de monitoreo inspecciona cada una de las variables presentes, proporcionando señales de alerta en el momento que se presente algo inusual.</p> <p>El contar con un sistema de monitoreo permitirá dinamizar el proceso de localización de fallas reduciendo considerablemente el tiempo invertido en localizar y corregir la falla en comparación con la metodología utilizada en las redes eléctricas tradicionales. Adicionalmente, el monitoreo del estado de la red debe vigilar la inyección de energía desde los diferentes pilotos de energía distribuida. Las transiciones de estos pilotos pueden generar estrés en las líneas eléctricas que deben ser custodiados para garantizar la estabilidad general de la red principal. Todas estas características deben ser acompañadas de sistemas de comunicaciones robustos que exploten los últimos desarrollos en redes de computación y transmisión de datos para garantizar una excelente calidad del servicio al cliente.</p> <p>Es por ello que un sistema de monitoreo efectivo tiene gran relevancia dentro de la calidad del servicio energético esperado por los usuarios, con él se garantiza salvaguardar los activos eléctricos tanto de empresas como de hogares, así como la reducción de los riesgos que puedan causar los distintos tipos de daños.</p>

#### 4.1.1.4 Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Los indicadores KPI seleccionados para este caso de uso fueron escogidos para mejorar el rendimiento de la red eléctrica, dentro de estas cualidades tenemos: 1. evaluar el funcionamiento de la red eléctrica mediante la detección y respuesta a fallas. 2. Evaluar la eficacia del sistema de medición. 3. Evaluar el correcto funcionamiento de la red. 4. La capacidad de la red para entrar nuevamente en funcionamiento y el análisis costo beneficio

que el sistema de monitoreo puede tener, tabla4.9.

**Tabla 4.9.** Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Item	Nombre	Descripción
1	Tiempo de Detección y respuesta a fallas	Esta métrica permite determinar el tiempo que tarda el sistema de monitoreo en alertar sobre la falla.
2	Tasa de Precisión de la detección	Esta métrica permite determinar el porcentaje de precisión de detección del sistema de monitoreo al detectar la falla.
3	Tiempo de restauración del sistema	Esta métrica permite determinar el porcentaje de tiempo que toma una restauración total del servicio de red eléctrica ante una falla.
4	Disponibilidad operativa de la red	Esta métrica permite determinar el porcentaje de tiempo que la red eléctrica está disponible.
5	Costo/Beneficio del mantenimiento	Esta métrica permite determinar la rentabilidad que puede generar el uso del sistema de monitoreo.

#### 4.1.1.5 Condiciones del caso de uso

Continuación, se establecen las suposiciones que permiten el diseño de la futura arquitectura, dando un plano realista de la situación actual de la red eléctrica, : como por ejemplo: situación de la plataforma de comunicaciones, problemas de interoperabilidad, la no inyección a la red de energías producto de fuentes DER, todo esto debido a que san Andrés se encuentra en un plan de a mejoramiento tecnológico y al ser una isla los sistemas de comunicaciones y algunos equipos puedan ver afectadas su funcionamiento. Por otro lado, los requisitos previos da un panorama de la necesidad de una nueva infraestructura tecnológica y de planes de formación energética para los actores involucrados, tabla4.10.

**Tabla 4.10.** Condiciones del caso de uso

Condiciones de casos de uso
Suposiciones

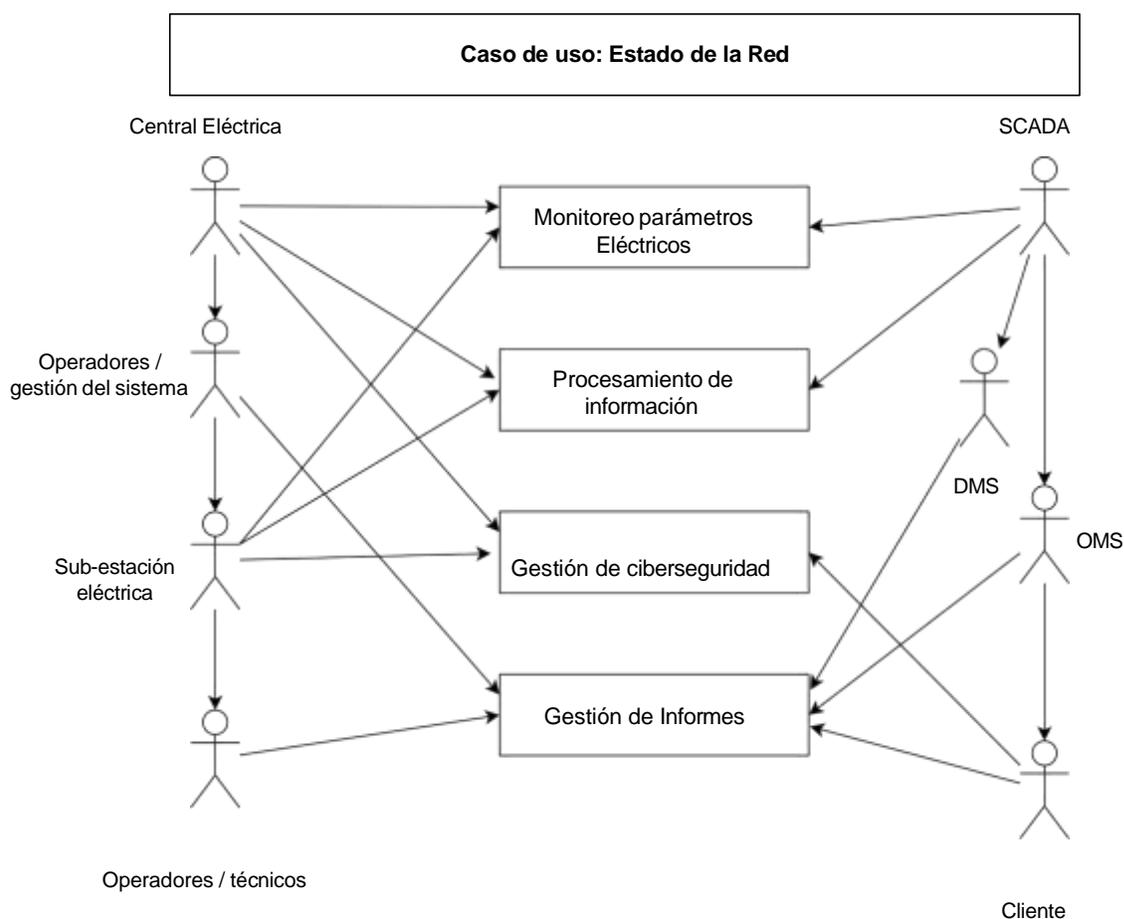
1. La automatización de la lectura de consumo puede verse afectada por la no actualización de los medidores de energía.
2. Los pilotos de energía renovable no producen información relevante que permita saber el nivel de energía que aportan a la red eléctrica.
3. Los requisitos de interoperabilidad entre los equipos tradicionales y los nuevos a desplegar no son considerados.
4. Existe disponibilidad de plataformas tecnológicas de comunicación que permiten la conexión a internet a alta velocidad.
5. Disponibilidad en infraestructura física para la instalación de sensores encargados de analizar las señales generadas en los diferentes dispositivos.
6. La red posee aplicaciones capaces de gestionar en forma efectiva la gran cantidad de datos generados.
7. Se supone la existencia de un marco regulatorio que incentiva la utilización de energías renovables.

#### Requisitos previos

1. Se debe implementar una metodología Smart grids que permita ser ajustada y considere una implementación y actualización gradual de los medidores convencionales a medición AMI.
2. Los dispositivos encargados de realizar el empalme entre las diferentes tecnologías deben estar acorde a los estándares internacionales establecidos para tal fin ajustándose a los requerimientos de interoperabilidad previamente establecidos.
3. Las fuentes de energías renovables deben ajustarse a la normativa colombiana, su diseño debe cumplir la normativa de inserción de energía sobrante en la red o simplemente reducción de consumo.
4. Actualización inminente de los dispositivos que conforman la red de transmisión de energía.
5. Apoyo y colaboración entre los diferentes partes interesados como proveedores, entidades regulatorias y consumidores.
6. Implementar estándares y procedimientos de ciberseguridad que proteja la red contra amenazas cibernéticas futuras.
7. Campañas de concientización de las nuevas posibilidades que le brinda este tipo de actualización de la red eléctrica dirigidas a los consumidores.

## 4.1.2 Diagrama del caso de uso

Monitoreo de parámetros eléctricos, procesamiento de la información, gestión de la ciberseguridad y gestión de informes, para esto se relacionan actores que tienen que ver con el proceso energético en la isla de San Andrés, desde la central generadora – sopesa hasta los clientes residenciales, cada uno interactuando e intercambiando información referente al estado de la red, con plataformas tecnológicas dispuestas para ejecutar labores de monitoreo, salvaguardando el proceso de envío de información y protegiéndolas contra ataques de origen cibernético, figura 4.10.



**Figura 4.10.** Diagrama de caso de uso para el estado de la red.

## 4.1.3 Detalles técnicos

### 4.1.3.1 Actores

Los actores fueron seleccionados de acuerdo con la función que cumplen dentro de la red de distribución eléctrica de San Andrés Islas, desde la planta generadora que se encuentra en punta Evans hasta las subestaciones que distribuyen a los hogares la energía y llegando a los clientes residenciales. Además, se tiene en cuenta los software que se encargan de la supervisión del sistema, así como el hardware que interactúa entre sí para poder llevar la información de manera bidireccional, tabla 4.11.

**Tabla 4.11.** Lista de actores involucrados en el caso de uso

<b>Actor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Central Generadora de Energía.	Infraestructura	Es la encargada de generar y distribuir a las subestaciones la energía producida. Se incluye también aquella producida por fuentes no convencionales. La central se encuentra localizada en el sector de Punta Evans. Sus tareas también se centran en el monitoreo del flujo de energía garantizando una distribución de electricidad confiable y eficiente.
Subestación eléctrica	Infraestructura	San Andrés cuenta con dos subestaciones: el Bight y School House. Se encargan de realizar transformación de tensión y corriente para luego distribuirlas entre los circuitos de los consumidores.
Clientes	Persona	Usuario final del servicio. En la isla de san Andrés se clasifican generalmente como residenciales y comerciales.
Sistema de gestión de Operaciones (OMS)	Aplicación	Localización y reducción de fallos en tiempo real, así como restablecimiento de servicio eléctrico, recibe informes del sistema SCADA y se encarga de realizar las correspondientes notificaciones a los operarios y clientes.
Sistema Scada	Aplicación	Supervisa y controla en forma remota equipos de campo, recopila datos y gestiona alarmas.
Sistema de Gestión de la distribución (DMS).	Aplicación	Utiliza los datos de otros dispositivos como el sistema Scada para medir la confiabilidad de la red. Optimiza la distribución de la energía.
Operadores / técnicos	Persona	Se encargan de realizar los mantenimientos y otras operaciones físicas como la desconexión.
Operadores / Gestión del sistema	Persona	Se encargan de tomar decisiones a partir de los informes obtenidos y en caso de requerirlo asigna tareas de mantenimiento/operación a los operarios encargados.

Elaboracion Propia.

#### 4.1.4 Análisis paso a paso del caso de uso

##### 4.1.4.1 Resumen general de los escenarios

Dentro de los escenarios descritos se visualizan algunas de las situaciones que pueden presentarse durante el proceso de monitoreo de estado de la red, cuando se realizan algunas de las diferentes funcionalidades que presentamos en este caso de uso como son: el monitoreo de parámetros eléctricos, el procesamiento de la información, la gestión de la ciberseguridad, gestión de informes. Aunque el sistema se asume funciona con normalidad durante el transcurso de sus operaciones, se pueden llegar a presentar incidentes que de no llegar a ser tratadas en forma oportuna pueden afectar el funcionamiento de la red eléctrica, San Andrés islas es vulnerable a Ante la presencia de estos incidentes, en este ítem se identifican posibles eventos y como es posible que el sistema funcione ante ellos, tabla 4.12.

**Tabla 4.12.** Resumen de los escenarios del caso de uso: estado de la red

#	Nombre del escenario	Actores	Descripción del evento	Precondición	Postcondición
1	Monitoreo de parámetros eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central eléctrica</li> <li>• Sub-estación</li> <li>• SCADA</li> </ul>	<p>El servicio eléctrico se presta con normalidad mediante los procesos de generación, producción, transmisión y distribución de energía a los dos sectores con los que cuenta la isla de San Andrés. Aquí, todos los dispositivos involucrados en estos procesos se encargan de monitorear y analizar el comportamiento de las diferentes variables del sistema como: voltaje, corriente, potencia, frecuencia y temperatura, entre otros. Si se hace necesario, se ejecutan las tareas de identificación y respuesta rápida a fallas que se puedan presentar en los diferentes elementos activos o pasivos de la red. Esto incluye las carga provenientes de las fuentes no convencionales de energía y de las estaciones de movilidad eléctrica. Los diferentes sistemas de información como el SCADA, DMS, OMS, se encargan de verificar el correcto funcionamiento del sistema en general. Factores externos como el clima, siendo San Andrés una isla en donde comúnmente se presentan fenómenos ambientales como los huracanes o incluso los elevados niveles de salinidad del ambiente pueden llegar a afectar el correcto nivel de los parámetros mencionados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de monitoreo funciona correctamente.</li> <li>• Se cuenta con sensores y plataforma de comunicaciones adecuados.</li> <li>• No existen problemas de intercambio de datos entre los equipos y sistemas de información.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los datos de los parámetros eléctricos se muestrean de forma eficiente.</li> <li>• La información recogida y procesada es utilizada para la toma de decisiones.</li> </ul>

2	Procesamiento de la información	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central eléctrica</li> <li>• Sub-estación</li> <li>• SCADA</li> <li>• DMS</li> <li>• OMS</li> </ul>	<p>Durante el monitoreo de los parámetros se generan datos de los diferentes dispositivos y sensores los cuales son recopilados y estructurados de manera que puedan ser transmitidos y posteriormente almacenados. Esta información no solo abarca los parámetros eléctricos, además, incluye datos claves para determinar el estado de la red como la estabilidad de la carga producto de la generación de energía (suministrada por la central y la producida por fuentes DER), y las provenientes de las estaciones de carga de la movilidad eléctrica. Sistemas de información como el SCADA, el DMS y el OMS, utilizan esta información para administrar la red de acuerdo al rol que tenga cada uno, permitiendo gestionar y controlar eficientemente aspectos como : generación, distribución y consumo energético.</p>	<p>Red eléctrica actualizada que disponga de dispositivos para el tratamiento de la información.</p>	<p>Se hace una recolección de datos exitosa y se transforma en información pertinente para la toma de decisiones.</p>
3	Gestion de Ciberseguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central eléctrica</li> <li>• Sub-estación</li> <li>• Clientes</li> </ul>	<p>A lo largo de todo el proceso que presta el servicio de acceso a la energía eléctrica, la red eléctrica debe garantizar que se cumplan los protocolos de seguridad cibernética pertinentes que asegure la correcta transmisión de los datos a través de los distintos canales de comunicación y que además se proteja de acciones dañinas por agentes externos. La protección de la información debe cubrir también a la información proveniente o enviada desde o hacia los clientes. La actualización hacia una red inteligente habilita e incrementa el flujo de información de gran importancia para la empresa, el cliente y demás actores de la cadena de información. Es de total relevancia asegurar la privacidad de la información.</p>	<p>Se cuenta con los protocolos de ciberseguridad que permiten detectar anomalías durante el funcionamiento de la red, generando los mensajes de alerta en caso de ser necesarios.</p>	<p>La red gestiona adecuadamente la prestación del servicio teniendo en cuenta aspectos de seguridad de la información.</p>

4	Gestión de Informes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operadores/ Gestión del sistema</li> <li>• Operadores/ Técnicos</li> <li>• Clientes</li> <li>• OMS</li> <li>• DMS</li> </ul>	<p>Cuando los sistemas de información transforman todos los datos producidos por los diferentes dispositivos, automáticamente se deben generar los respectivos informes que sirven para la toma de decisiones. La información reportada debe corresponder de acuerdo a los roles definidos en el sistema. Algunos de estos roles son: operarios encargados de la gestión de la red, técnicos de mantenimiento, clientes, o personal administrativo.</p>	<p>La nueva red Smart Grids está preparada para realizar el monitoreo de todo el sistema y generar los informes respectivos con planes eficientes de contingencia ante cualquier situación.</p>	<p>Si se identifican anomalías en los datos obtenidos por los elementos de monitoreo, se notifica a las personas responsables para realizar las acciones pertinentes.</p>
---	---------------------	---	---	---	---

Elaboración Propia.

#### **4.1.4.2 Descripción de los escenarios**

Con la descripción de los escenarios del caso de uso estado de la red, se busca dar una lectura de una situación operativa que se puede estar presentando durante el proceso de monitoreo, con esto se busca mostrar como los actores tanto físicos, de software y humanos se relacionan entre sí para poder tomar decisiones respecto a la información que están intercambiándose, la isla de san Andrés cuenta con una sola central de generación de energías convencionales y de dos subestaciones, además al ser una isla no cuenta con un sector industrial, esta tesis se basa en los clientes residenciales, y la interacción que debe haber para este caso de uso hace referencia a parámetros que permitan identificar y resolver problemas que hagan referencia a la detección de fallas. Se describen diversas situaciones que pueden presentarse durante la puesta en marcha de la nueva red de monitoreo, San Andrés islas en dimensiones geográficas puede ser pequeña, pero su alto crecimiento poblacional, hace que el servicio de energía eléctrica pueda presentar una serie de casos muy particulares durante su ejecución. Se relacionan los actores que puedan formar parte de estas situaciones, el evento presentado, el mecanismo de respuesta y el comportamiento esperado, tabla 4.13, tabla 4.14, tabla 4.15, tabla 4.16, tabla 4.17, tabla 4.18, tabla 4.19.

**Tabla 4.13.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de parámetros eléctricos

Escenario		Monitoreo de parámetros eléctricos	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Monitoreo de recursos de generación	Supervisión de generación eléctrica	La información de campo a nivel de generación es concentrada en unidades RTU (Remote Terminal Unit) que realizan la tarea de concentrar grandes cantidades de información proveniente de los equipos o sensores instalados. Posteriormente, esta información es organizada y transformada de acuerdo a los protocolos de comunicación definidos y transmitida de manera sincrónica a los sistemas de información de más alto nivel como SCADA, OMS, DMS.
2	Monitoreo de recursos distribuidos	Control y distribución de recursos energéticos	Los dispositivos que se encuentran en la red de distribución como medidores, dispositivos de protección, interruptores, envían señales que llegan a unidades terminales (RTU), que mediante los sistemas de comunicación definidos transmiten los datos a sistemas SCADA y posteriormente a sistemas OMS y DMS los que verifican de manera cíclica que los recursos eléctricos se estén distribuyendo correctamente.
3	Monitoreo de sistemas DER	Supervisión de fuentes no convencionales de energía	Las plantas de generación DER realizan sus procesos de conversión de energía e inyectan sus recursos a la red principal. El sistema de monitoreo garantiza una vigilancia continua de estos sistemas para gestionar el equilibrio del sistema entre oferta y demanda al contar con la información en tiempo real de la producción y aporte de energía a la red principal a partir de fuentes distribuidas.
4	Monitoreo de cargabilidad eléctrica	Seguimiento capacidad de carga eléctrica	Las estaciones de carga son supervisadas de manera continua para determinar su disponibilidad al público. La información de la cantidad y disponibilidad de energía se emplea para evaluar su utilidad al momento de atender contingencias (horas pico de alta demanda del servicio) y mantener en balance la oferta y demanda del servicio.
5	Monitoreo de servicios	Evaluación de la eficiencia energética	El consumo de los clientes es supervisado por medidores inteligentes que recopilan la información posteriormente utilizada para generar los informes y estadísticas del sistema en general. Esta realimentación de información también permite hacer detección y seguimiento a las posibles conexiones fraudulentas a afectan a la red.

Elaboración Propia.

**Tabla 4.14.** Continuación del escenario de monitoreo de parámetros eléctricos

Scenarío (cont.)				
Nombre del escenario		Monitoreo de parámetros eléctricos		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	INICIO	Dispositivos de campo	RTU	I-01
2	CREAR	RTU	SCADA	I-03,I-04
3	REPORTAR	DMS-OMS	SCADA	I-02,I-03,I-04
4	VISUALIZAR	SCADA	Operadores / Gestión del sistema	I-05, I-06

Elaboración Propia.

**Tabla 4.15.** Descripción detallada del escenario de procesamiento de la información

Nombre del escenario		Procesamiento de información	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Solicitud de datos	Inicio de la recopilación de datos	Los diferentes sistemas de información como el SCADA, DMS y el OMS , solicitan información sobre el estado de la red a través de diferentes dispositivos como sensores, transformadores, medidores, RTU. Se muestrean los valores que registran las variables como voltaje, corriente y potencia de los circuitos de generación, de distribución, fuentes de energía distribuida DER y los sistemas de recarga eléctrica.
2	Transmisión de datos	Envío de datos para el procesamiento	Se transmiten los datos mediante la utilización de redes alámbrica e inalámbricas de acuerdo a la posible configuración hardware utilizada. Estos se codifican con el fin de mantener la privacidad de la información de acuerdo a los estándares y protocolos de comunicación idóneos en este tipo de sistemas.
3	Almacenamiento de datos	Creación de bases de datos	La información recibida es almacenada en servidores los cuales organizan la información en lotes de datos centralizados.
4	Análisis de datos	Procesamiento de la información	Se implementan algoritmos de procesamiento de la información para crear las métricas correspondientes que reporten los registros necesarios a clientes y administradores de la red.
5	Visualización de la información	Organización de la información	Se resume la información tratada para crear las tendencias de mayor interés de acuerdo a cada rol (clientes, administradores u operadores de la red). La información es visualizada a través de las diferentes plataformas de información utilizadas, tales como el sistema SCADA.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.16.** Continuación del escenario de procesamiento de la información

Scenario (cont.)				
Nombre del escenario		Procesamiento de informacion		
Paso	Servicio	Informacion Producida	Informacion detectada	Informacion Intercambiada
1	GET	DMS, OMS	SCADA	I-01, I-02, I-03, I-04
2	PROTECCION	SCADA	Operadores / Gestión del sistema	I-06, I-07
3	CAMBIO	Operadores / Gestión del sistema	Operadores / técnicos	I-07, I-08
4	INFORME	DMS-OMS	SCADA	I-09

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.17.** Descripción detallada del escenario de gestión de la ciberseguridad del sistema

Nombre del escenario		Gestión de Ciberseguridad	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Observación y análisis de posibles ataques cibernéticos	Monitoreo de amenazas cibernéticas	Durante el proceso de monitoreo se ejecutan tareas específicas de supervisión asegurando que los servidores no sufran cambios mediante conexiones externas. Esto incluye la detección de intrusiones a la red con posibles ataques que puedan ocurrir. También se utiliza la detección de virus y malware mediante controles de plataforma.
2	Recopilación y almacenamiento de información	Registro de eventos	Se registra los eventos que ocurran durante el la prestación del servicio de energía. Estos eventos se registran basados en los lineamiento para almacenar la información que permita tener información relevante para la toma de decisiones.
3	Encriptación de los datos transmitidos y almacenados	Seguridad de la información	Los sistemas de comunicación y de almacenamiento de información pueden sufrir ataques que afecten los datos. Por tal motivo, se realizan procesos de encriptación en los diferentes procesos de transmisión y almacenamiento para reducir riesgos de alteración y pérdida de información.
4	Garantizar confidencialidad de los datos	Protección a la privacidad	Se implementan sistemas de autenticación de credenciales para los diferentes roles presentes en el sistema (clientes, administradores, operarios). Estas tareas son soportadas con las normas de ciberseguridad integradas en los equipos de comunicación utilizados en la red.
5	Ataques cibernéticos	Recuperación de desastres y respuesta a incidentes	Se crean protocolos de respuesta ante fallos de seguridad de la información. Estos deben guiar a mantener la estabilidad del sistema preservando la información relevante de los clientes y empresa prestadora del servicio.

Elaboracion Propia.

Scenario (cont.)				
Nombre del escenario		Gestion de Ciberseguridad		
Paso	Servicio	Informacion Producida	Informacion detectada	Informacion Intercambiada
1	INICIO	DMS	SCADA	I-07, I-06
2	AUTENTICAR	SCADA	Operadores / Gestión del sistema	I-07, I-06
3	EJECUTAR	SCADA	Operadores / Gestión del sistema	I-07, I-06
4	REPETIR	OMS	Operadores / Gestión del sistema	I-07, I-06

**Tabla 4.18.** Descripción detallada del escenario de gestión de informes del sistema

Nombre del escenario		Gestión de informes	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso / Actividad
1	Definir requisitos de información	Clasificación de informes	Se obtiene de los dispositivos de campo los Datos de registro, modelo y número de serie, dirección IP, fecha y hora, valores tensión, corriente, potencia, estado del equipo, tiempo de funcionamiento.
2	Estructurar informes	Formato de datos	Se define una estructura básica de presentación de la información dependiendo del rol (cliente, administrador u operario) donde se desplegará. La estructura base debe mostrar el tipo de análisis realizado a los datos, presentar si hay hallazgos relevantes desde el último reporte y mostrar el estado de la red.
3	Envío de informe	Canal de distribución del reporte	Se procede con la tarea de comunicación de la información según el destinatario. Se presentan opciones de envío como son: portales web, mensaje de texto sobre la red celular y correo electrónico. Se comprende el uso de correo impreso solo en situaciones especiales.
4	Acceso de informe	Autenticación de usuario del sistema	Los accesos a la información se realizan mediante la implementación de contraseñas de usuario y por confirmación de códigos de validación usando mensaje de texto.

Elaboracion Propia.

Escenario (cont.)				
Nombre del escenario		Gestion de informes		
Paso No	Servicio	Informacion Producida	Informacion detectada	Informacion Intercambiada
1	INICIO	Operadores / Gestión del sistema	Operadores / técnicos	I-07, I-08, I-09
2	CREAR	SCADA	Operadores / Gestión del sistema	I-07, I-08, I-9
3	EJECUTAR	DMS-OMS	SCADA	I-07, I-08, I-09
4	REPORTAR	SCADA	Operadores / Gestión del sistema	I-07, I-08, I-09

**Tabla 4.19.** Información intercambiada para los escenarios del caso del estado de la red

Información Intercambiada		
ID	Información	Descripción
I-01	Sistemas de Gestión de la Energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión generada por las maquinas distribuidas en la planta principal, esta suele ser de 13,4 KV.</li> <li>Tensión generada transformada a 34,5 KV en la estación elevadora.</li> <li>Información de la alimentación de la carga a lo largo del circuito.</li> <li>Medidas de la potencia instalada en los equipos.</li> <li>Cargas en la red producto de fuentes no renovables.</li> </ul>
I-02	Detección de Fallas	Información obtenida de sensores, encargados de verificar el correcto funcionamiento de los equipos y su interoperabilidad.
I-03	Lectura de medidor: sabotaje	Información de anomalías en el correcto funcionamiento del dispositivo debido a ataques externos.
I-04	Código, Estado de los equipos y sistemas de distribución.	Información que brinda datos para la toma de decisiones sobre el funcionamiento de los dispositivos en el sistema de distribución.
I-05	Instrucciones para el restablecimiento eléctrico	Datos que permiten alimentar el software encargado de restaurar en el menor tiempo posible y a la mayor cantidad de clientes su servicio eléctrico.
I-06	Ciberseguridad	Información intercambiada entre los diferentes entes que componen el sistema energético con el fin de prevenir futuras amenazas provocadas por agentes tecnológicos externos
I-07	Autenticación de Usuarios	Información de inicio de sesión por parte de los administradores de los diferentes sistemas de gestión.
I-08	formato de datos almacenados	estándar de codificación, para el almacenamiento de la información
I-09	formato de informes	Plantilla para la entrega de la información

Elaboracion Propia.

#### 4.1.5 Modelado SGAM del caso de uso del estado de la red

A continuación, se procede a realizar el diseño de la arquitectura de monitoreo del estado de la red Smart grids, propuesta para la futura red inteligente de San Andrés islas. Es claro que en la actualidad se requiere integrar más a los usuarios con los proveedores, aunque se dispone de un sistema que abarca en gran medida un área geográfica no tan extensa en donde se extiende la red actual, con esta implementación se busca mejorar aún más el proceso energético que en la actualidad se está realizando, la toma de decisiones se verá beneficiada en un alto porcentaje.

##### 4.1.5.1 Capa de componentes

La capa de componentes para este diseño, en la cual agrupamos todos los actores que interviene en la parte física de generación, distribución, transmisión y almacenamiento del servicio energético, el cual debe ser monitoreo constantemente para garantizar su correcto desempeño. De lo anterior se escogieron aquellos actores que formaran parte del sistema de distribución eléctrica de la isla de San Andrés, esperando con esto tener un diseño flexible y escalable en el tiempo, con las normas de seguridad y ciberseguridad existentes. Estos componentes se organizan de manera que puedan dejar claridad de la interacción que tienen cada uno de ellos dentro de la nueva arquitectura de

monitoreo.

Es por eso, que se asignó su posición dentro de la infraestructura de acuerdo con las funciones que cada uno tiene dentro de la misma. En la zona de operación se ubicaron los actores del caso de uso que tuvieran que ver con el proceso de transformación energética, como son: La central de generación principal, los sistemas de transmisión, las subestaciones de distribución (para la isla de San Andrés son dos), los proyectos piloto de energías renovables incluyendo las estaciones de carga de movilidad eléctrica y los clientes que en este estudio está compuesto por residenciales, tal como se muestra en la figura 4.11.

Así mismo, en la zona de campo se agrupan aquellos dispositivos que cumplan con la función de monitorear el sistema de potencia eléctrico, para esta investigación hay que tener en cuenta los diferentes subsistemas que componen la nueva arquitectura, esto es se tiene en cuenta dispositivos que puedan interactuar con las diferentes fases del proceso de comercialización, como es en generación, transmisión y distribución, ahora bien se tuvieron en cuenta terminales remotas, sensores y dispositivos para estos dominios, así mismo sensores, medidores AMI y dispositivos de gestión de la energía en los dominios de generación DER y clientes.

Además, en la zona de estación se ubicó los componentes agregados a los ubicados en la zona de campo, por lo cual se tuvieron en cuenta aquellos que sirvieran como gestores de red, esto es dispositivos capaces de recibir o enviar las señales de aviso, con el fin de tomar algún tipo de acción, los dispositivos empleados fueron, el sistema scada, y las RTU (Remote Terminal Unit).

En la zona de operación se ubicaron los actores del caso de uso que tuvieran que ver con el proceso de transformación energética, como son: operadores de gestión del sistema y técnicos, DMS, OMS y el SCADA.

Para, las últimas dos zonas como son empresa y mercado, se tiene en cuenta las necesidades comerciales del sector eléctrico, en este caso para una zona no interconectada, ahora bien ambas tienen que ver con los entes reguladores que en la actualidad cumplen esa función dentro del territorio colombiano, Prosumidores y la empresa prestadora del servicio SOPESA ESP (Sociedad Productora de Energía de San Andrés y Providencia) en la figura 4.5 se muestra la ubicación de los componentes descritos en el caso de uso, figura 4.11::

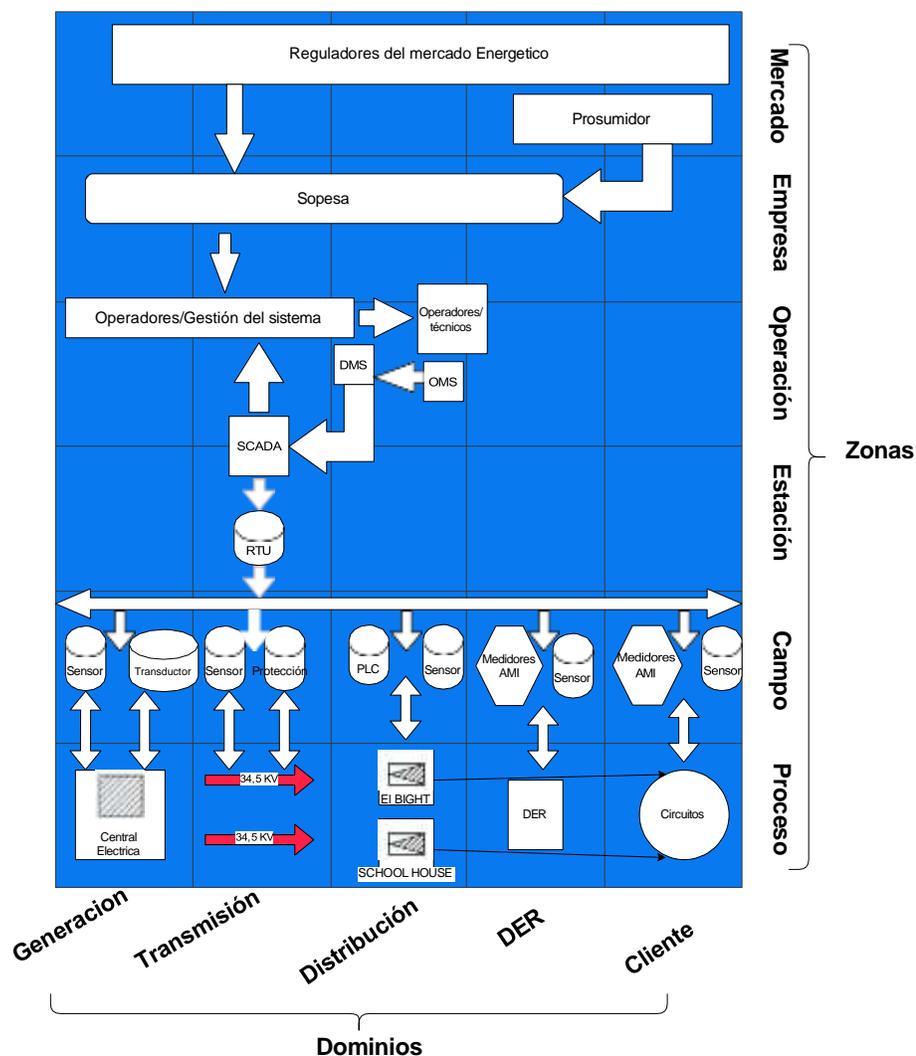


Figura 4.11. Capa de componentes del caso de uso de estado de la red

#### 4.1.5.2 Capa de negocio

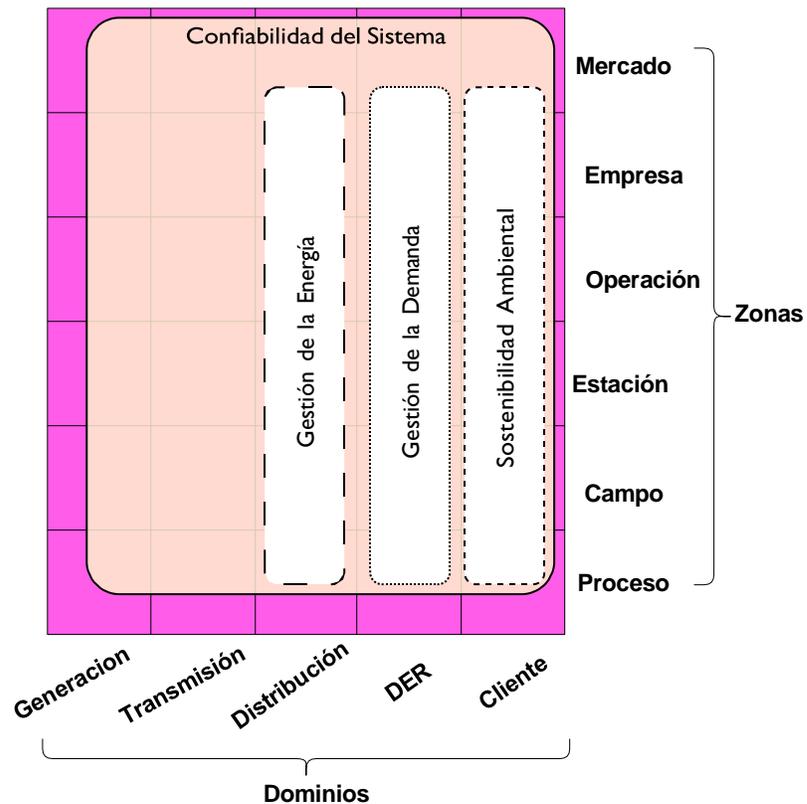
Para el diseño de esta capa se tuvo en cuenta aspectos de negocios que tengan que ver con el estado de la red, específicamente con la detección de fallas, estos permiten a los futuros diseñadores tener una visión a largo plazo de las necesidades tecnológicas e interacciones entre los diferentes componentes que la conforman, alineándolos con los objetivos estratégicos comerciales de la organización, en este caso el proveedor del servicio eléctrico en la isla de San Andrés.

De lo anterior, se determinan objetivos que puedan considerarse estratégicos para el desarrollo de una red Smart grids referentes al monitoreo del estado de la red eléctrica en las islas, entendiendo que forma parte de una zona no interconectada y estos deben considerar estos aspectos al momento de plantearlos, así mismo debe tener la capacidad de establecer los servicios que una Smart grids es capaz de proporcionar a los usuarios para satisfacer sus necesidades, considerando aspectos regulatorios para la prestación del servicio eléctrico emitido por la autoridad competente correspondiente.

Respecto a los objetivos de negocio planteados en esta capa para esta propuesta son relacionados

en la figura 4.12 a continuación:

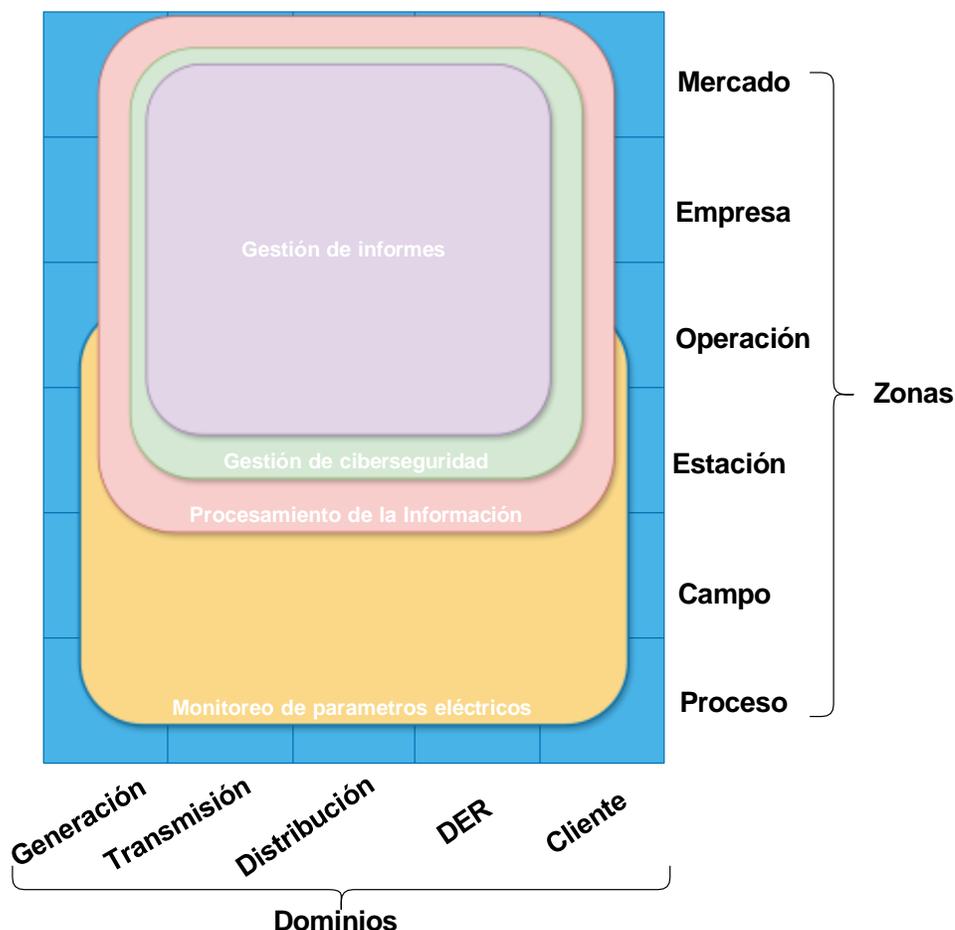
- Confiabilidad del sistema.
- Gestión del consumo
- Gestión de la Demanda energética.



**Figura 4.12.** Capa de negocio del caso de uso de estado de la red

#### 4.1.5.3 Capa de función

Para el diseño de esta capa se tuvo en cuenta funciones relacionadas con tecnologías de información que fueran capaces de soportar los objetivos comerciales ya indicados, es importante tener bien definidas las funcionalidades esperadas en la arquitectura como son: monitoreo de parámetros eléctricos, procesamiento de la información, gestión de la ciberseguridad y gestión de informes. Que manejara los procesos de monitoreo eléctrico de la nueva red de San Andrés Islas. Con lo anterior en esta capa se garantizan las funciones de monitoreo correctas, así como una gestión de red eficiente, las funciones se relacionan en la figura 4.13:



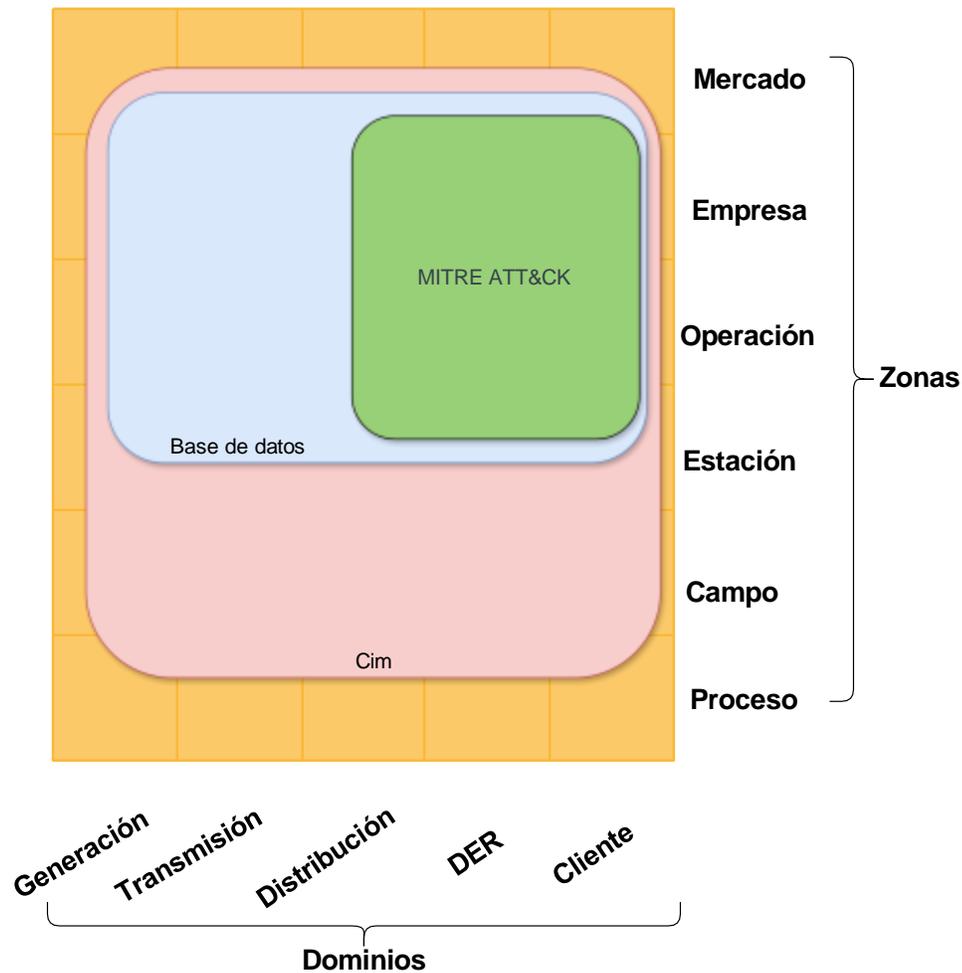
**Figura 4.13.** Capa de función del caso de uso de estado de la red

El aporte de cada función propuestas para el caso de uso son los siguientes: el monitoreo eléctrico de parámetros se encargará de recolectar toda la información de los dispositivos en todos los dominios del modelo SGAM desde la generación hasta los clientes y abarca las zonas de procesos hasta operación que es donde se cumple el ciclo de manejo de información referente a los dispositivos de seguimiento operativo de la red. La función procesamiento de la información se encargará del manejo de datos de su transmisión, procesamiento de datos, abarca todos los dominios del modelo SGAM y las zonas en las que tendrá incidencia será desde la zona de estación donde se encuentra el sistema SCADA y llegará hasta la zona empresarial, La función gestión de la ciberseguridad abarcará todos los dominios y las zonas de incidencia será desde estación hasta la zona empresa, hay que aclarar que la ciberseguridad se aplica en cada una de las capas presentes en este modelo, y por último la función gestión de informes que se encuentra ubicada en todos los dominios y abarca desde la zona de estación hasta la zona empresa también, en él se verifican los formatos, medios del informe y a quien va dirigido.

#### 4.1.5.4 Capa de información

En esta capa se incluyen los modelos de datos para la integración perfecta de las funciones y aplicaciones y los dispositivos que se encontraran en el campo, cabe denotar que las nuevas funcionalidades y dispositivos necesarios para la interacción correcta de los diferentes activos de la

red, deben garantizar la interoperabilidad entre ellos y seguridad en la red contra ataques u espionaje. Como se ha mencionado antes la red de San Andrés Islas no posee un área geográfica muy amplia, al ser una isla puede llegar a tener problemas de conectividad que en algún momento la puede aislar del resto del continente, lo que puede generar un grave problema de comunicación no solo externo además internamente la isla puede presentar fallas en las comunicaciones en la figura 4.14 se muestran como se ubican estos modelos en la capa:

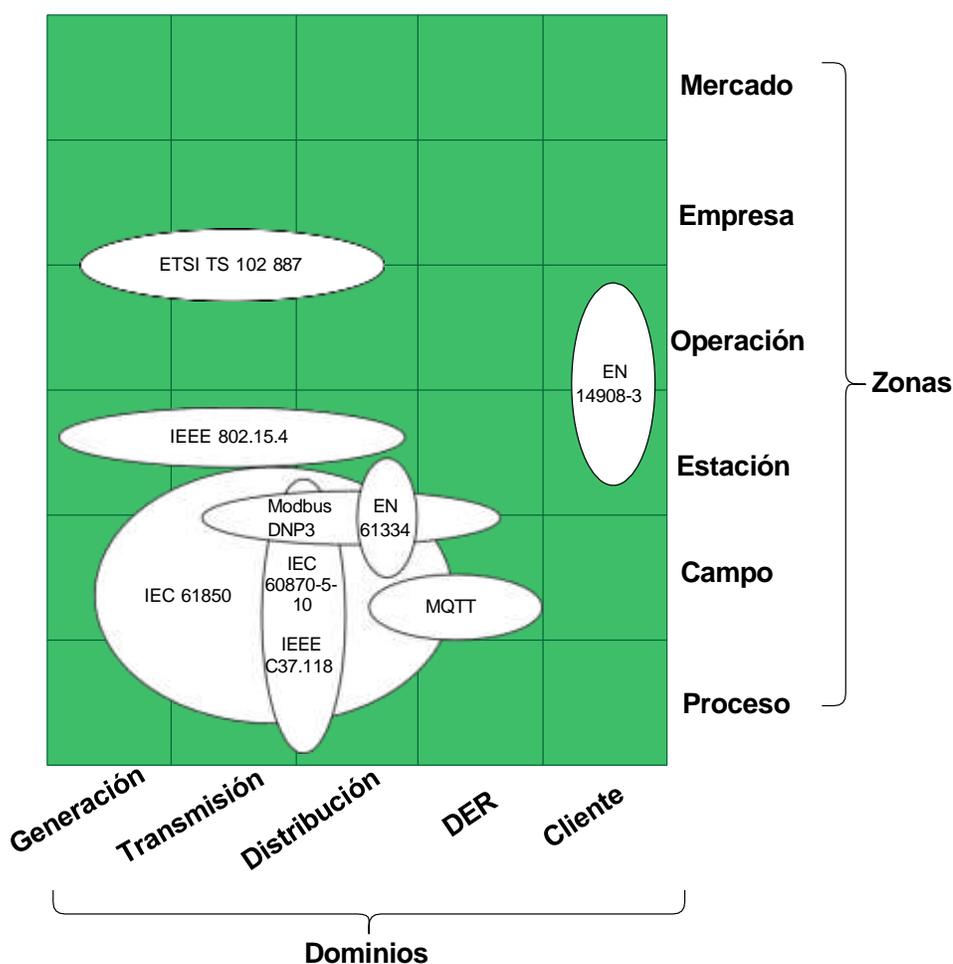


**Figura 4.14.** Capa de información del caso de uso de estado de la red

Los modelos de datos escogidos para que soporten estas funciones son: CIM, MITRE ATT&CK Y Base de Datos. El modelo CIM aporta a este caso de uso aspectos claves como la interoperabilidad, los datos los representas mediante un conjunto de atributos que permite que dispositivos de distintas marcas puedan intercambiar información sin ningún problema, abarca todos los dominios y las zonas debido a la naturaleza del caso de uso que es monitoreo estado de toda la red eléctrica, el MITRE ATT&CK aporta un mecanismo valioso para salvaguardar la ciberseguridad de la red mediante: la clasificación de amenazas, análisis y respuesta a incidentes, las bases de datos proporcionan un sistema de almacenamiento de datos, tratamiento de la información y soporte.

#### 4.1.5.5 Capa de comunicación

Siguiendo los estándares propuestos en el caso de uso, se escogen los protocolos a utilizar en el diseño de esta capa, la importancia de este proceso radica en la necesidad de establecer reglas claras de intercambio de comunicación entre los diferentes elementos que componen la red, una red como la que se propone diseñar requiere realizar procesos de monitoreo del estado de la red en tiempo real, por lo cual las transferencias de datos deben ser especificadas de manera que se realice un correcto tratamiento de la información, figura 4.15.



**Figura 4.15.** Capa de comunicación del caso de uso de estado de la red

Los protocolos escogidos agregan aspectos como: la interoperabilidad, escalabilidad, flexibilidad, además tiene cada uno otras características como son: EN 14908-3 permite una comunicación dinámica y automatizada entre instalaciones, MQTT ese protocolo de entrega de datos en tiempo real, EN 61334 es un facilitador de la interoperabilidad entre dispositivos, ETSI TS 102 887 es un protocolo de comunicación máquina a máquina (M2M) en aplicaciones IoT, Modbus es un protocolo de comunicación muy utilizado por el Scada, se utiliza para transmitir datos entre dispositivos electrónicos, DNP3 también es utilizado por el SCADA y es muy utilizado para transmitir información entre equipos de campo, IEC 60870-5-101 este protocolo supervisa y es un facilitador de la comunicación en tiempo real, IEEE C37.118 este permite la transmisión de datos de medición fasorial, IEC 61850 permite la comunicación entre subestaciones eléctricas y por último IEEE

802.15.4 que es útil para transmitir datos entre dispositivos de baja potencia.

## 4.2 Caso de Uso: Consumo Energetico

### 4.2.1 Descripción general caso de uso

#### 4.2.1.1 Identificación del caso de Uso

El caso de uso presentado, servirá como documentó previo para la implementación de un sistema de monitoreo del consumo energético en la isla de San Andrés, está diseñado para implementar en el monitoreo de clientes residenciales, incluyendo la reducción en el consumo por implementación de sistemas de reducción de consumo mediante fuentes renovables, así como proceso de facturación y factor de cargabilidad de sistemas de vehículos eléctricos, tabla 4.20.

**Tabla 4.20.** Identificación del caso de uso de gestión del consumo

Identificación Caso de Uso		
ID	Área Dominio(s)/Zona(s)	Nombre del caso de uso
Proyecto-UNAL-SAI-02	SGAM.dominios/SGAM.zonas	Consumo energético y cargabilidad en la movilidad eléctrica usuarios residenciales de la red de San Andrés Islas

#### 4.2.1.2 Alcance y objetivos del caso de uso

El alcance propuesto para la realización de este caso de uso, comprende la gestión de consumo, mejorar la eficiencia con que el cliente residencial utiliza la energía suministrada, agregando aspectos como la reducción de consumo por fuentes renovables, que para este caso de uso solo comprenden las que el usuario tenga en sus viviendas y que a la fecha de la realización de esta propuesta solo es utilizada para reducción del consumo, debido a que en San Andrés aún no existe una normativa de inyección a la red por parte del los consumidores. Esto también aplicado a los procesos de facturación y a los de cargabilidad eléctrica en los hogares,t abla 4.21.

**Tabla 4.21.** Alcance y objetivos del caso de uso

<b>Alcance y objetivos del caso de uso</b>	
Alcance	La arquitectura de monitoreo propuesta para la isla de San Andrés habilitará la instalación de dispositivos que comuniquen la información de consumo eléctrico de los usuarios. Además de determinar las tendencias en el consumo de los usuarios y buscando optimizar las tareas de facturación. También, busca cubrir el monitoreo en tiempo real de movilidad eléctrica como el estado de la carga y consumo de energía en las estaciones residenciales.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar un sistema de monitoreo de consumo energético que permita a los usuarios residenciales vigilar y controlar su demanda energética.</li> <li>• Establecer mecanismos de alerta de picos de energía, que permita al usuario tomar medidas para modificar su consumo durante tales periodos.</li> <li>• Implementar un sistema de monitoreo de consumo energético por fuentes de Energía Distribuida (DER) que permita a los usuarios residenciales controlar su demanda energética teniendo una visión general del consumo.</li> <li>• Registrar en forma precisa y clara el consumo de los usuarios de manera que se optimice el manejo de datos, para una facturación precisa.</li> <li>• Integrar sistemas de cargabilidad residenciales de vehículos eléctricos en usuarios que implementen sistemas de energías alternativas.</li> </ul>
Casos de negocio relacionados	Gestión de Demanda y cargabilidad de la movilidad eléctrica.

Elaboracion Propia.

#### 4.2.1.3 Narrativa del caso de uso estado de la red

El caso de uso descrito a continuación en la tabla 4.22, muestra como un sistema de monitoreo sea hace necesario para la toma de decisiones, San Andrés islas es una zona interconectada y su consumo energético se basa en su mayoría en la utilización de combustible fósil, con este caso de uso los datos suministrados permitirán caracterizar de forma eficiente las verdaderas necesidades de consumo y aso poder establecer planes de contingencia para reducir la utilización de combustible fósil el cual es tan dañino para la isla siendo esta zona de biosfera.

**Tabla 4.22.** Narrativa del caso de uso

<b>Narrativa del caso de uso</b>
<b>Descripción Corta</b>
Un sistema de monitoreo que se encargue de realizar el seguimiento al consumo energético en tiempo real, generando, recopilando y analizando datos que puedan ser utilizados para la toma de decisiones, por parte de los operarios y los consumidores de la red, que detectan tendencias durante determinado periodo de tiempo, así como posibles anomalías en el consumo que se puedan presentar dentro del sistema de red de los clientes, esto permite optimizar el servicio prestado a los diferentes usuarios, así como establecer políticas de manejo de datos que optimice la facturación y el seguimiento a la cargabilidad eléctrica en los hogares.
<b>Descripción Extensa</b>
Los usuarios del servicio de energía de la isla de San Andrés requieren un seguimiento constante de cada una de las actividades que preceden durante la distribución energética, como es bien sabido la isla es una zona no interconectada, por lo cual dada su extensión geográfica que no es muy extensa, el servicio es suministrado por un único ente que en este caso es la planta principal, junto a proyectos de energía renovables que se han puesto en marcha. Por lo cual, el sistema de monitoreo de consumo propuesto deberá ser capaz de registrar el consumo de los clientes en tiempo real, esto gracias a la implementación de medidores inteligentes, sistemas de información y tecnologías de información. Las tecnologías de información que son fundamentales dentro de este caso de uso, dado que serán las encargadas de realizar la transmisión de los datos a través de redes de comunicación las cuales pueden ser alámbricas o inalámbricas, al poder contar con información de los diferentes dispositivos de monitoreo y al analizarla es posible tomar decisiones que permitan mejorar el servicio prestado, reducir costos al detectar las necesidades de cada cliente y mejorar la eficiencia eléctrica. Además, el sistema permite optimizar el proceso de toma de datos, mejorando la facturación del cliente con información certificada y confiable, siendo un gran modelo de mejora continua en donde aquellos que deseen instalar en sus residencias equipos de cargabilidad eléctrica para vehículos, podrán hacerlo gracias a la implementación de energía alternativa en sus hogares la isla cuenta con proyectos de energía solar estos son financiados por entes públicos y privados, Además se afianza la relación entre los usuarios y la empresa generadora en donde se podrán retroalimentar las acciones establecidas con el fin de verificar que se cumplan con los objetivos estratégicos planteados. Ahora bien, con la inserción de pilotos de energías renovables en cada uno de los hogares, este sistema de monitoreo permite verificar que parte del consumo es suplido por la energía producida por el mismo usuario.

Elaboracion Propia.

#### 4.2.1.4 Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Los indicadores KPI seleccionando, buscan ofrecer métricas que hagan referencia al consumo energético de los clientes residenciales, la eficacia de la cargabilidad eléctrica y la reducción de consumo debido a las fuentes DER, Con esto se busca que el futuro modelo de arquitectura tenga unos indicadores acodes a los objetivos planteados durante los primeros pasos de la construcción de este documento, el cual hacer referencia a la medición del consumo energetico, teniendo en cuenta factores como la inserción de fuentes DER residenciales, sistemas de cargabilidad eléctrica y facturación, tabla 4.23.

**Tabla 4.23.** Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Item	Nombre	Descripción
1	Consumo Energético total	Esta métrica permite determinar el Consumo energético invertido en un espacio de tiempo, puede ser diario, semanal o mensual.
2	Cantidad de energía utilizada	Esta métrica permite determinar el umbral de energía del usuario, al momento de superarlo este se activa y emite una alarma.
3	Porcentaje de precisión en la lectura	Esta métrica permite determinar el porcentaje de precisión de la lecturas y de los registros.
4	Porcentaje consumo por fuentes de energía DER	Esta métrica permite determinar el porcentaje de energía utilizada provenientes de fuentes no convencionales.
5	Eficiencia en los sistemas de cargabilidad eléctrica	Métrica encargada de determinar la confiabilidad del servicio de cargabilidad en la movilidad eléctrica.

Elaboracion Propia.

#### 4.2.1.5 Condiciones del caso de uso

Las condiciones establecidas para el caso de uso muestran el panorama arquitectónico en primer lugar de la red eléctrica de San Andrés islas se establecen factores como el no cambio de medidores por parte de la población considerando la extensión geográfica no tan extensa, el mal funcionamiento de los dispositivos, y los problemas en el flujo de información proveniente de los pilotos DER, aclarando que estos últimos hace referencias a los que algunos usuarios tengan instalados en sus residencias, así como problemas de integración de equipos de cargabilidad, con este caso de uso se busca mejorar en estos aspectos dejando los requisitos necesarios para mejorar en estos aspectos solucionando un tema que es el de la facturación, tabla 4.24.

**Tabla 4.24.** Condiciones del caso de uso

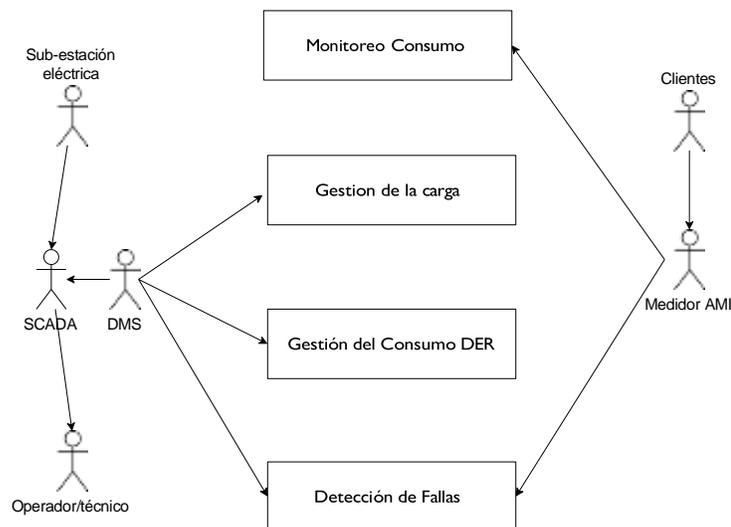
<b>Condiciones del caso de uso</b>	
<b>Suposiciones</b>	
1.	La automatización de la lectura de consumo puede verse afectada por la no actualización de los medidores.
2.	Los pilotos de energía renovable no producen información relevante que permita saber el nivel de energía que aportan al consumo de los usuarios.
3.	El comportamiento de los sensores y sistemas es deficiente, a tal punto que ante un pico de consumo no se le informa al cliente.
4.	El sistema de facturación presenta costos de acuerdo al consumo energético real, se presentan muchas quejas por parte de los usuarios.
5.	La cargabilidad en la movilidad eléctrica se ve afectada por la imposibilidad de integrar sistemas de carga en sus hogares.
<b>Requisitos previos</b>	

1. Se realiza la correcta actualización de la red, algunos barrios como el Cove ya cuentan con abonados que tienen medidores inteligentes.
2. Los sistemas de generación dispuestos para el consumo en las residencias, cuenta con medidores bidireccionales que permiten inserción ala red y reducción de los costos de facturación.
3. Al presentarse un pico en el umbral de consumo, la red cuenta con los dispositivos y procedimientos adecuados para generar las alarmas que informen al cliente de la situación presentada.
4. Se reducen las quejas por los aumentos presentados en la facturación, los usuarios logran tener claro cual es su consumo, los sistemas de información gestionan los datos de manera eficiente.
5. Los sistemas de carga en los hogares se integran de forma eficiente solo tomando la energía que producen las fuentes DER de los usuarios.

Elaboracion Propia.

## 4.2.2 Diagrama del caso de uso

El diagrama de caso de uso muestra la relación entre los diferentes actores seleccionados, que tengan que ver con aspecto de consumo energetico, facturación y cargabilidad eléctrica, se establecen 4 funcionalidades el monitoreo del consumo, la gestión de la carga, gestión de consumo por fuentes DER(residenciales), y el monitoreo de la cargabilidad eléctrica. Actores como el EMS ,DMS, AMI,HEMS tiene un intercambio directo de información con la mayoría con los demás actores, siendo el SCADA el sistema de información principal que se encarga de administrar la información proveniente de la red, figura 4.16.



**Figura 4.16.** Diagrama de caso de uso para el consumo de energía.

### **4.2.3 Detalles técnicos**

#### **4.2.3.1 Actores**

Los actores seleccionados para el presente caso de uso, son todos aquellos de la red eléctrica de San Andrés islas que conforman el proceso de consumo energético residencial, entre ellos la central generadora que se ubica en punta Evans, las dos subestaciones que se encargan de distribuir la energía en las residencias, así como sistemas de información que tendrán la misión de recopilar, transmitir la información que tenga como resultado la toma de decisiones, los medidores y sensores que se utilizarán son los que lleven datos referentes al consumo, tanto de la energía convencional como la que proviene de fuentes renovables, tabla 4.25.

**Tabla 4.25.** Lista de actores involucrados en el caso de uso

<b>Actor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Central Generadora de Energía.	Infraestructura	Es la encargada de generar y distribuir a las subestaciones la energía producida. Se incluye también aquella producida por fuentes no convencionales. La central se encuentra localizada en el sector de Punta Evans. Sus tareas también se centran en el monitoreo del flujo de energía garantizando una distribución de electricidad confiable y eficiente.
Subestación eléctrica	Infraestructura	San Andrés cuenta con dos subestaciones: el Bight y School House. Se encargan de realizar transformación de tensión y corriente para luego distribuirlas entre los circuitos de los consumidores.
Clientes	Persona	Usuario final del servicio. En la isla de san Andrés se clasifican generalmente como residenciales y comerciales.
Sistema Scada	Aplicación	Supervisa y controla en forma remota equipos de campo, recopila datos y gestiona alarmas.
Sistema de Gestión de la distribución (DMS).	Aplicación	Utiliza los datos de otros dispositivos como el sistema Scada para medir la confiabilidad de la red. Optimiza la distribución de la energía.
Operadores / técnicos	Persona	Se encargan de realizar los mantenimientos y otras operaciones físicas como la desconexión.
Operadores / Gestión del sistema	Persona	Se encargan de tomar decisiones a partir de los informes obtenidos y en caso de requerirlo asigna tareas de mantenimiento/operación a los operarios encargados.
Medidores AMI	Dispositivo	Se encarga de hacer mediciones remotas de consumo energético y de verificar que no ocurran anomalías durante este proceso.
Sistema de Gestión de medición (MDM)	Sistema de información	Recibe y procesa los datos obtenidos del medidor AMI
Sistema de gestión de la energía (EMS)	Sistema de información	Software de monitoreo para optimizar el consumo en los hogares.
Sistemas de facturación automatizada	Sistema de información	Software que gestiona la facturación.
Sistemas de Gestión de la Relación con el Cliente (CRM)	Sistema de información	Visualiza los datos de consumo al cliente.
Cargadores de vehículos eléctricos	Dispositivos	Punto de carga de baterías de vehículos eléctricos
Sistemas de Gestión de la Energía del Hogar (HEMS)	Sistema de información	Plataforma tecnológica de ahorro energético

Elaboración Propia.

#### **4.2.4 Análisis paso a paso del caso de uso**

En esta sección se describen los escenarios que puedan llegar a presentarse durante las funcionalidades vistas en el diagrama de caso de uso, en este caso los actores tomados de la red eléctrica de San Andrés islas, se asociaran con situaciones cotidianas como por ejemplo al momento de realizar las actividades de monitoreo en un día normal como debería comportarse ante cualquier eventualidad. Esto permitirá mejorar la eficiencia energética del servicio prestado, porque los usuarios tendrán un sistema de respuesta a sus demandas y un panorama claro del nivel de su consumo, evitando discordias al momento de recibir su facturación. En cuento a la cargabilidad eléctrica muestra escenarios y los planes de acción ante la carga utilizada para los vehículos eléctricos, tabla 4.26.

##### **4.2.4.1 Resumen general de los escenarios**

**Tabla 4.26.** Resumen de los escenarios del caso de uso: gestión de la carga

#	Nombre del escenario	Actores	Descripción del evento	Precondición	Postcondición
1	Monitoreo de consumo energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica.</li> <li>• Clientes.</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistema Scada.</li> <li>• Operadores/Gestión del sistema.</li> <li>• Operarios / Mantenimiento.</li> <li>• Sistema de gestión de la energía (EMS).</li> <li>• Cargadores de vehículos eléctricos.</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistemas de Gestión de la Energía del Hogar (HEMS)</li> </ul>	<p>Durante el transcurso de la operación operadores y usuarios pueden tener acceso a información respecto al consumo energético, y realizar de considerarlo apropiado ajustes necesarios con relación a su consumo con el fin de reducir los costos de facturación, es posible que se detecte un aumento en el consumo en determinados horarios por los que le cliente sera notificado mediante mensaje de texto, ademas el cliente podrá saber el valor del consumo durante el periodo. y gracias a los sistemas de información se podrá facturar de manera precisa el consumo mensual.</p>	<p>se cuenta con un sistema de monitoreo instalado en la red, así mismo las comunicaciones entre los operarios y los clientes fluye en forma bidireccional.</p>	<p>El usuario interactúa con los proveedores e informa cualquier tipo de anomalía con respecto a su consumo.</p>

2	Gestión de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica</li> <li>• Clientes</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistema Scada</li> <li>• Operadores/Gestion del sistema.</li> <li>• Operarios/Mantenimiento.</li> <li>• sistema de gestión de la energía (EMS).</li> <li>• Cargadores de Vehículos eléctricos.</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistemas de Gestión de la Energía del Hogar (HEMS)</li> </ul>	<p>Durante la prestación del servicio, los sistemas de información establecen horarios y umbrales picos de consumo, estableciendo algún punto del día en donde el consumo es inusual y alertando al usuario de ser necesario, de manera que no se vea afectado por factores externos como precio de la energía reflejados en la facturación.</p>	<p>La información tratada por los sistemas de información son fiables, con esto se detecta los aumentos o disminución del consumo en horarios determinados.</p>	<p>Detectar una variación significativa en el aumento de consumo de un consumidor, se es alertado. en caso tal se envía una cuadrilla que verifique la no precedencia de conexiones ilegales que aumenten el consumo.</p>
---	------------------	---	--	---	---

3	Gestión de carga DER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica.</li> <li>• Clientes.</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistema Scada.</li> <li>• Operadores/Gestión del sistema.</li> <li>• Operarios/Mantenimiento.</li> <li>• sistema de gestión de la energía (EMS).</li> <li>• Cargadores de Vehículos eléctricos.</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistemas de Gestión de la Energía del Hogar (HEMS).</li> </ul>	<p>El sistema de monitoreo realiza un mapeo de los recursos energéticos DER instalados en las residencias que adopten este sistema, la capacidad y la disponibilidad e infraestructura, es analizada y en caso de existir excedentes en alguna vivienda este es inyectado a la red y se le reconoce la usuario en forma monetaria( en san Andrés islas aun la inyección no representa un beneficio económico, los sistemas se instalan para que solo generen lo suficiente para reducir el consumo).</p>	<p>Los proyectos de energía renovable que se encuentran en los hogares funcionan adecuadamente y envían información respecto a la cantidad de energía suministrado, a la fecha san Andrés cuenta solo con pilotos de energía solar, instalados y configurados para reducir el consumo.</p>	<p>La red gestiona las cargas producto de fuentes no convencionales de energía en los hogares, de existir energía sobrante esta es inyectada ala red.</p>
---	----------------------	---	--	--	---

4	Monitoreo de cargabilidad eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica.</li> <li>• Clientes.</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Sistema Scada.</li> <li>• Operadores/Gestión del sistema.</li> <li>• Operarios/Mantenimiento.</li> <li>• sistema de gestión de la energía (EMS).</li> <li>• Cargadores de Vehículos eléctricos.</li> <li>• Sistemas de Gestión de la Energía del Hogar (HEMS).</li> </ul>	<p>Los usuarios que han decidido instalar sistemas de cargabilidad a partir de fuentes DER para sus vehículos, logran almacenar la energía necesaria para la carga y el sistema de monitoreo es capaz de registrar datos provenientes de cada una de las estaciones en las residencias.</p>	<p>La red eléctrica cuenta con un sistema de monitoreo pertinente para resolver cualquier situación que se presente durante el proceso de carga de vehículos eléctricos, los sistemas de comunicación funcionan con normalidad.</p>	<p>Ante un nuevo acontecimiento en donde se detecta una anomalía que provoca la inestabilidad de la red, producto de la carga de un vehículo eléctrico, el sistema de monitoreo emite una señal temprana para la evaluación del problema y su posible solución.</p>
---	-------------------------------------	---	---	---	---

Elaboración Propia.

#### 4.2.4.2 Descripción de los escenarios

En esta sección se describe paso a paso la interacción de los diferentes componentes que conforman cada uno de los escenarios propuestos, con esto se busca dejar claro la relación entre los sistemas de información y los demás actores para el intercambio de información referente a cada una de las actividades propuestas para tener un buen punto de partida durante el diseño de una arquitectura de monitoreo del consumo energético en el sector residencial de San Andrés islas, tabla 4.27, table4.28, tabla4.29, .table4.30, tabla4.31, table4.32, tabla4.33, table4.34, tabla4.35.

**Tabla 4.27.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo del consumo

Nombre del escenario		Monitoreo del consumo	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Recopilación de datos desde los dispositivos de monitoreo	Flujo de datos desde los dispositivos	El sistema DMS recopila los datos que provienen de los sectores de la red eléctrica enviando esta información procesada al a sub estación con el fin de dar datos sobre la demanda , el sistema AMI se encarga de recopilar datos pero de los clientes y establece un flujo constante de los mismos.
2	Comparación de datos (Esperados - recibidos)	Análisis de los parámetros de consumo, comparándolos con un histórico para determinar si hay anomalías	El DMS utiliza algoritmos para comparar los datos históricos con los recibidos, el AMI proporciona flujo de datos de los consumidores, los clientes informan sobre anomalías y la subestación eléctrica identifica futuros problemas en la red que puedan presentarse.
3	En caso de encontrar disparidad entre el esperado y lo encontrado se genera un evento de falla	Eventos de falla	El sistema de gestión DMS monitorea y determina el impacto de la falla sobre la red, el AMI entrega información precisa sobre daños en la distribución a clientes, el cliente retroalimenta a los proveedores y la subestación tiene protocolos para el aislamiento ante esta situación.
4	Generación de facturación	Entrega de datos de consumo	Los sistemas de información de facturación utilizan los datos que se almacenaron en los MDM, así mismo los CMR sirven como canales para que el cliente pueda verificar su consumo.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.28.** Continuación del escenario de monitoreo del consumo

Escenario (cont.)				
Nombre del escenario		Monitoreo de consumo eléctrico		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	GET	AMI	DMS	c-01
2	CREAR	DMS	SCADA	c-02
3	EJECUTAR	DMS	SUBESTACION	C-05
4	INFORME	MDM	CRM	C-05

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.29.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de carga

Nombre del escenario		Gestión de Carga	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Monitoreo de recursos fuentes convencionales	Recopilación de datos dispositivos asociados a la producción de energía fuentes convencionales	Los sensores y dispositivos de monitoreos presente en las fuentes como maquinas de transformación eléctrica y transformadores envían la información que es recopilada por el sistemas de información DMS, el cual a su vez la pasa al sistema SCADA que se encarga de visualizar los datos para que la subestación los interprete, los medidores AMI se encargan de que los clientes visualicen este tipo de información.
2	Evaluación capacidad de carga	Análisis de datos sobre el consumo de energía proveniente de fuentes convencionales	Los sistemas de información utilizan algoritmos que le permiten analizar en forma rápida las tendencias en el consumo producto de estas cargas.
3	estabilidad de la carga producto fuentes convencionales	control de los recurso en la red producto de fuentes convencionales.	Se analiza las tendencias que se obtuvieron en el paso anterior y con el se realizan cambios de ser necesarios para garantizar la eficiencia en el servicio prestado
4	Informe desempeño de la red	Reportes anuales de la capacidad de generación del operador	Con la información recopilada de los diferentes dispositivos que se encuentran a lo largo de la red, se hacen equipos de trabajo definidos por el operador de red, para mediante métricas establecer las tendencias durante le desarrollo de actividades de generación con fuentes no convencionales.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.30.** Continuación del escenario de gestión de Carga

Scenario (cont.)				
Nombre del escenario		Gestión de Carga		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	CREAR	DMS	SCADA	C-01
2	INFORME	AMI	CLIENTE	C-03, c-07
3	EJECUTAR	MDM	CLIENTE	C-05, C-06
4	REPORTAR	CENTRAL ELECTRICA	CLIENTE	C-05, C-07

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.31.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de carga de las DER

Nombre del escenario		Gestión de carga de las DER	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Monitoreo de recursos DER	Recopilación de datos de dispositivos asociados a la producción de energía DER en los hogares	Los sensores y dispositivos de monitoreo presentes en las fuentes como paneles solares, turbinas eólicas envían la información que es recopilada por el sistema de información DMS, el cual a su vez la pasa al sistema SCADA que se encarga de visualizar los datos para que la subestación los interprete, los medidores AMI se encargan de que los clientes visualicen este tipo de información.
2	Evaluación capacidad de generación	Determinación de recurso DER como apropiado o no	Algunos de los datos obtenidos de los dispositivos de campo como sensores y medidores AMI, son analizados en la sub-estación que se encarga de analizar la capacidad de carga de los recursos DER.
3	Integración de carga DER en la red eléctrica	Generación de energías por cargas DER supera el umbral	La energía generada por las fuentes DER superan los niveles establecidos previamente, el excedente se inyecta en la red y se establece la cantidad de energía obtenida de las fuentes no convencionales.
4	Informe desempeño de la red	Reportes anuales de la capacidad de generación DER	Con la información recopilada de los diferentes dispositivos que se encuentran a lo largo de la red, se hacen equipos de trabajo definidos por el operador de red, para mediante métricas establecer las tendencias durante el desarrollo de actividades de generación con fuentes no convencionales.

Elaboración Propia.

**Tabla 4.32.** Continuación del escenario de gestión de consumo DER

Escenario (cont.)				
Nombre del escenario		Gestión de consumo DER		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	CREAR	DMS	SCADA	C-01
2	INFORME	AMI	SUBESTACIÓN	C-03, C-06
3	EJECUTAR	DMS	CENTRAL ELÉCTRICA	C-05
4	REPORTAR	AMI	CENTRAL ELÉCTRICA	C-05

Elaboración Propia.

**Tabla 4.33.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de cargabilidad eléctrica

Escenario		Monitoreo de cargabilidad eléctrica	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Recopilación de datos	Monitoreo de cargabilidad eléctrica	Los sensores y medidores inteligentes , envían información relevante sobre los parámetros de carga y consumo del sistema de carga eléctrica.
2	Análisis de datos	Evaluación de cargabilidad eléctrica	Los sistemas de información toman los datos y los analizan mediante la utilización de algoritmos, los resultados son visualizados por los operarios de gestión y por el cliente.
3	Supervisión de cargabilidad	Control y ajuste de cargabilidad eléctrica	El suministro eléctrico es regulado de acuerdo ala información suministrada por los sistemas de información, adecuando la energía a las necesidades de carga.
4	Generación de informes	Elaboración de informes de cargabilidad eléctrica	Se crean informes periódicos sobre el proceso de cargabilidad , estos informes pueden ser diarios, mensuales o anuales.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.34.** Continuación del escenario de monitoreo de cargabilidad eléctrica

Scenario (cont.)				
Nombre del escenario		Monitoreo de cargabilidad eléctrica		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	CREAR	HEMS	DMS	C-01
2	INFORME	EMS	DMS	C-02, C-07
3	EJECUTAR	DMS	SUBESTACIÓN	C-05
4	REPORTAR	MDM	CRM	C-05,C-08

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.35.** Información intercambiada para los escenarios del caso de consumo energético y cargabilidad en la movilidad eléctrica

Información Intercambiada		
ID	Información	Descripción
C-01	Consumo energético	Información detallada de los consumos de los clientes , estos pueden ser tanto de la energía producida con diesel como de las de las fuentes DER.
C-03	Funcionamiento de los dispositivo	Información de el funcionamiento de los dispositivos como sensores, medidores que hacen parte del monitoreo de consumo.
C-04	Capacidad de la red eléctrica	Información de la carga de la red eléctrica , así como la disponibilidad de recursos y la estabilidad de la misma.
C-05	Alarmas	Notificaciones que aparecen en caso de presentarse una anomalía en el funcionamiento de la red eléctrica.
C-06	Tarifas de consumo	Información sobre los costos incurridos por el consumo.
C-07	Generación por fuentes DER	Información sobre la cantidad de energía producida por pilotos residenciales de energías alternativas.
C-08	Capacidad de carga eléctrica	Información sobre la carga para movilidad eléctrica en diferentes puntos de la red.

Elaboracion Propia.

#### 4.2.5 Modelado SGAM del caso de uso del estado de la red

A continuación se procede a realizar el diseño de la arquitectura de monitoreo de gestión del consumo Smart grids para usuarios residenciales de la isla de San Andrés islas, con esto se busca dejar un documento que sirva para implementar mejoras en el servicio, siendo que en la actualidad en algunos sectores de la isla el sistema de toma de lectura de consumo sigue siendo manual, y los usuarios en su mayoría no saben leer el medidor para definir su consumo durante algún periodo determinado, la inyección de cargas DER de pilotos residenciales de energía, no muestra claridad para aquellos que la han implementado y la cargabilidad eléctrica utiliza en su mayoría carga producto de la red de combustible fósil.

##### 4.2.5.1 Capa de componentes

La capa de componentes de este diseño inicia en la zona de procesos, agrupando todos los actores que conforman a lo largo de todos los dominios los procesos de generación, transmisión, distribución, fuentes DER y clientes. Se busca representar el sistema eléctrico de San Andrés islas. Su central generadora, las dos líneas de transmisión dirigidas a sus dos subestaciones, el grupo de pilotos de energías renovables y los clientes residenciales en este caso. Luego, en la zona de campo se ubican los medidores, sensores y sistemas de información que permiten la recopilación de datos del consumo energético, la inserción de fuentes no convencionales residenciales y la cargabilidad eléctrica. En la capa de estación ubicamos el sistema de información SCADA, el cual recibe de sistemas como el MDM Y el DMS, datos referentes a la carga de la red, consumo energetico, carga debido a fuentes DER residenciales y estabilidad de la carga ante la integración de la cargabilidad en la movilidad eléctrica.

En la zona de operación se encuentran los sistemas de información DMS, EMS, MDM y operadores y técnicos de gestión, esta zona se encarga de verificar los datos obtenidos para la toma de decisiones, por otro lado, esto se da gracias al intercambio de información entre cada uno de los sistemas. En la zona de mercado se encuentra los sistemas de facturación, el CMR, y tiene interacción el MDM Y el

EMS, y por último en la zona de mercado tenemos los reguladores energéticos que abarcan todos los dominios del modelo SGAM, figura 4.17

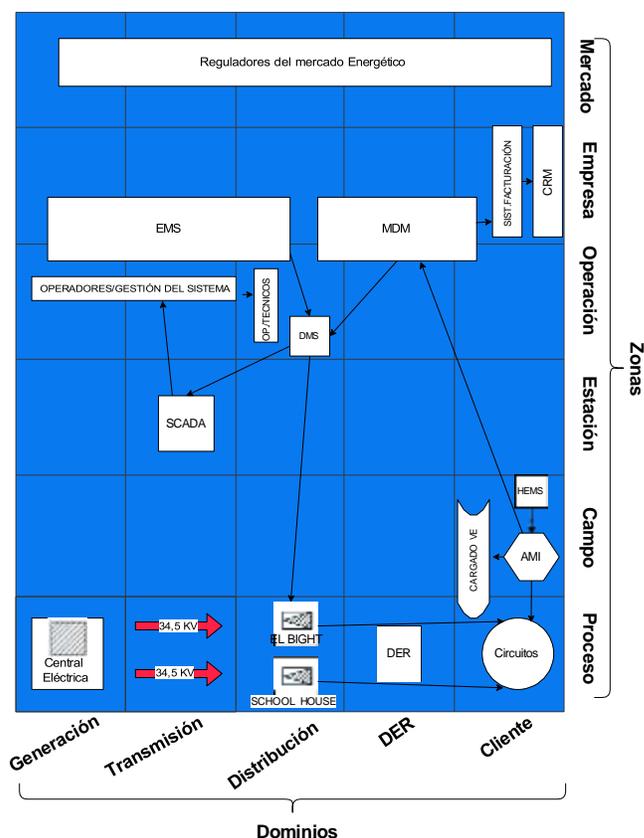


Figura 4.17. Diseño de la capa de componentes para el caso de uso de gestión del consumo

#### 4.2.5.2 Capa de negocio

Para el diseño de esta capa se tuvo en cuenta que el caso de uso busca dejar un monitoreo de consumo sobre los clientes residenciales, la carga DER que se monitorea aquí es la que producen para reducción de consumo los clientes residenciales en sus hogares y no producto de un piloto. se tuvo en cuenta aspectos de negocio que tengan que ver con aspectos de análisis de consumo, facturación y aprovechamiento de las fuentes DER en la cargabilidad eléctrica, el dominio para este caso solo tuvo en cuenta el del cliente y se distribuyó dos casos de negocio a través de todas las zonas siendo el caso principal gestión de consumo y el caso gestión de cargas DER no se ubicó en el dominio DER, figura 4.18.

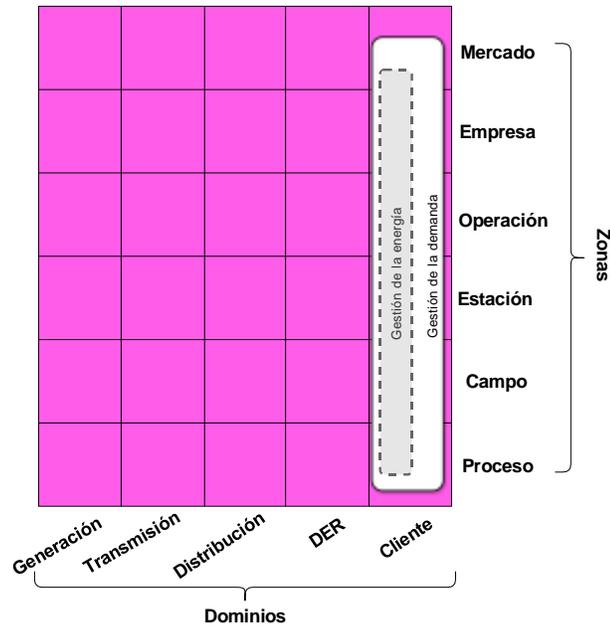


Figura 4.18. Diseño de la capa de negocio para el caso de uso de gestión del consumo

### 4.2.5.3 Capa de función

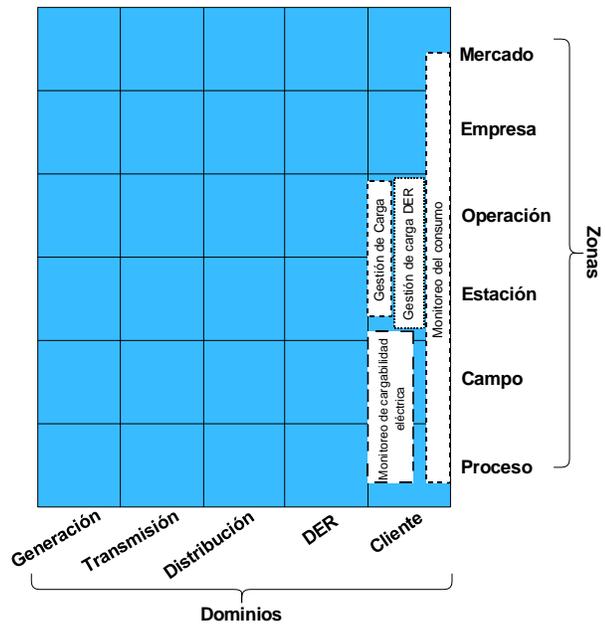


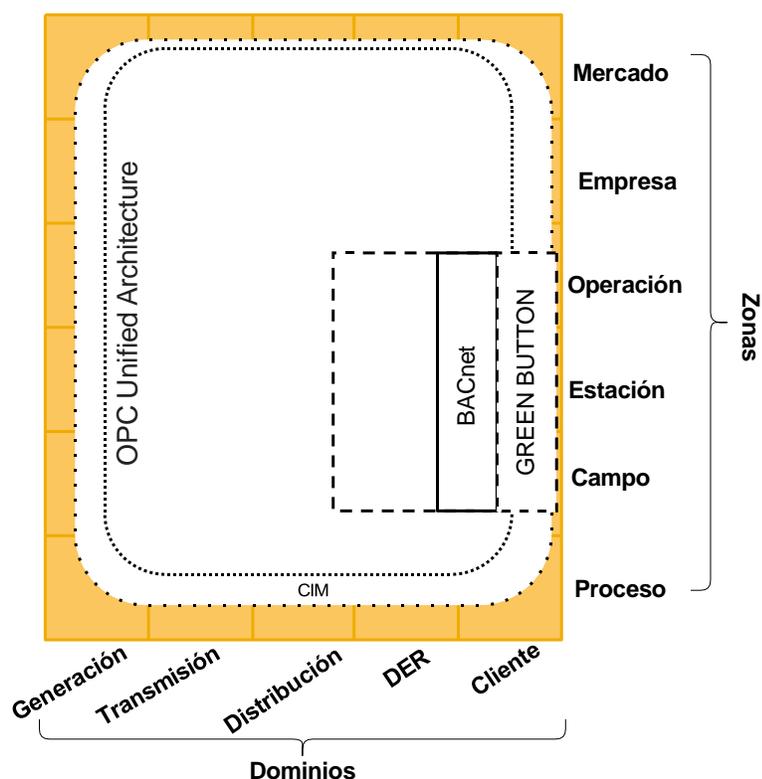
Figura 4.19. Diseño de la capa de función para el caso de uso de gestión del consumo

Para el diseño de esta capa, figura 4.19 se tuvo en cuenta funciones relacionadas con tecnologías de información que fueran capaces de soportar los objetivos comerciales ya indicados, es importante tener bien definidas las funcionalidades esperadas en la arquitectura como son: gestión de carga, monitoreo de cargabilidad eléctrica, monitoreo de consumo, gestión de carga DER. Teniendo en cuenta que

al final se busca dejar las bases para un sistema de monitoreo de consumo energético, que logre brindar beneficios para la reducción en el pago de facturas y la gestión de sistemas de cargabilidad eléctrica. Con lo anterior en esta capa se garantizan las funciones de monitoreo de consumo residencial correcto, se tiene en cuenta que las funciones en este caso se distribuyen entre el dominio de cliente y entre todas las zonas.

#### 4.2.5.4 Capa de información

En la capa de información se ubican los modelos de datos que soporten las funciones de la capa de función, para este proyecto aunque las funciones se encuentren solo en el dominio de cliente los modelos aplican a todos los dominios y zonas, tenemos el modelo CIM que permitirá el flujo de datos entre sistemas que no pertenezcan al mismo fabricante garantizando la interoperabilidad, DLMS/ COSEM permite la gestión de datos entre medidores inteligentes, BACnet permite y facilita la integración y la interoperabilidad entre edificios inteligentes, con el protocolo green Button los clientes podrán acceder a sus datos de consumo. OPC Unified Architecture garantiza la interoperabilidad y la comunicación segura, figura 4.29 .



**Figura 4.20.** Diseño de la capa de información para el caso de uso de gestión del consumo

#### 4.2.5.5 Capa de comunicación

La capa de comunicación se construye teniendo en cuenta protocolos que aseguran el intercambio de información entre dispositivos, ya sea remoto o físicos, salvaguardando los principios de interoperabilidad y de ciberseguridad. El LADP permite gestionar los datos, almacenarlos y permitir el acceso, el Zigbee es un protocolo de bajo costo para redes pequeñas es útil para mejorar



#### 4.3.1.1 Identificación del caso de Uso

**Tabla 4.36.** Identificación del caso de uso de integración de las DER a la red eléctrica.

Identificación Caso de Uso		
ID	Área Dominio(s)/Zona(s)	Nombre del caso de uso
Proyecto-UNAL-SAI-03	SGAM.dominios/SGAM.zonas	Integración de las DER en la red eléctrica de san Andrés Islas

#### 4.3.1.2 Alcance y objetivos del caso de uso

En esta sección delimitaremos el caso de uso inyección de red, el cual se centrara solamente en proyectos pilotos DER, el caso de uso busca dejar pautas claras para la implementación de sistemas de monitoreo de inyección de carga producto de las fuentes son convencionales, la isla de San Andrés es una zona no interconectada, la implementación de nuevas fuentes de energía en este caso las fuentes renovables, mediante granjas solares y eólicas necesita de un sistema de monitoreo capaz de inspeccionar el correcto funcionamiento de los dispositivos encargados de la inyección de la red, tabla 4.37.

**Tabla 4.37.** Alcance y objetivos del caso de uso

Alcance y objetivos del caso de uso	
Alcance	El alcance de este caso de uso es implementar una arquitectura que permita la integración de fuentes no convencionales de energía en la isla de San Andrés. Que garantice la estabilidad y la confiabilidad del sistema energético de las isla, mediante el aprovechamiento de los diferentes proyectos pilotos de fuentes DER como son solar y eólica.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar procedimiento para inyección a la red de energía producto de fuentes no convencionales.</li> <li>• Integrar tecnologías que permitan el monitoreo de las fuentes no convencionales en tiempo real.</li> <li>• Fomentar el uso de las fuentes no convencionales de energía como mecanismo para la no utilización de combustible fósil.</li> <li>• Establecer una guía de monitoreo para sistemas de almacenamiento de energía renovables</li> </ul>
Casos de negocio relacionados	Sostenibilidad Ambiental

Elaboracion Propia.

#### 4.3.1.3 Narrativa del caso de uso estado de la red

El contexto de la implementación de un sistema de monitoreo de inyección de cargas provenientes de fuentes DER se basa en aprovechar la nueva generación de energías y que para ellos se necesita de un sistema que sea capaz de manejar la información proveniente de ellas, y que además siendo San Andrés un sitio en donde el precio de la factura eléctrica de los hogares es relativamente alta, se asegura la reducción en las tarifas gracias al nuevo tipo de generación, tabla 4.38.

**Tabla 4.38.** Narrativa del caso de uso

<b>Narrativa del caso de uso</b>	
<b>Descripción Corta</b>	
El caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica de San Andrés islas, permitirá tener una arquitectura que se encargara de verificar que se implementen los mecanismos apropiados para aprovechar este nuevo tipo de generación, mediante la implementación de tecnologías que utilicen recursos abundantes como el solar y el viento, permitiendo que se reduzca la necesidad de utilización de combustibles fósiles, dañinos para le medio ambiente y que a su vez al encontramos en una isla la energía suele presentar un costo alto debido al echo de traer el combustible para las plantas generadoras de forma marítima.	
<b>Descripción Extensa</b>	
San Andrés islas es una zona no interconectada , esto significa que para poder generar la energía que llega a los hogares de los isleños, está en su mayoría se debe producir mediante la utilización de combustible fósil, el caso de uso integración de las DER en la red eléctrica de San Andrés islas, se enfoca en la implementación de proyectos de energía renovable que a pesar de que en su gran mayoría tienen que ver con paneles solares, también deja la posibilidad de incursionar en las producidas por el viento. El gobierno nacional a través de su política energética busca que lugares como San Andrés puedan aumentar su matriz energética, además reduciendo la utilización de combustible fósil, mismo que produce los gases de efecto invernadero que dañan la capa de ozono. San Andrés es una zona de biosfera y su ubicación geográfica la hace perfecta para aprovechar un recurso tan abundante como el solar, convirtiéndola en un destino ecoturístico, permitiendo que no solo se reduzcan las tarifas de un servicio energético hasta el momento costoso, además se permite implementar modelos de negocio basados en el aprovechamiento de energías no convencionales, como implementación de posadas nativas alimentadas en su mayoría con energía limpia.	

Elaboracion Propia.

#### 4.3.1.4 Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Los indicadores KPI para este proyecto fueron escogidos de manera tal que sirvieran como punto de inflexión acerca de la utilidad e importancia de implementar este tipo de proyectos en la isla de san Andrés, se busca tener una base numérica que permita la toma de decisiones y que incluya aspectos como infraestructura de acuerdo ala número de proyectos que se desea instalar y la efectividad así como la eficiencia de cada uno de estos nuevos pilotos de generación eléctrica, tabla 4.39.

**Tabla 4.39.** Indicadores clave de rendimiento (KPI)

<b>Item</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
1	Porcentaje de éxito de inyección de energía DER al a red	Con esta métrica se calcula el numero de éxitos al inyectar energía DER en la red.
2	Taza de variación en el procesamiento de datos DER	esta métrica busca verificar la efectividad entre los dispositivos que conforman el sistema de monitoreo de las DER, entre el tiempo que tardan en enviar los datos y el que se tardan procesar la información.
3	Factor de carga DER	esta métrica calcula porcentaje de carga provenientes de fuentes DER real utilizada.
4	Porcentaje de perdidas por daños en baterías de almacenamiento	Esta métrica permite determinar el porcentaje de perdidas de energía durante el proceso de almacenamiento en baterías .
5	Porcentaje proyectos de energía DER	Esta métrica permite determinar el porcentaje de proyectos pilotos utilizados en la isla.
6	Reducción de CO2	esta métrica mide la reducción de gases contaminantes.

Elaboracion Propia.

#### 4.3.1.5 Condiciones del caso de uso

Las condiciones previas abarcan aspectos de como debería encontrarse la red en estos momentos, da un punto de partida para cualquier tipo de diseñador, deja las normas claras de que se supone que debe encontrarse al momento de iniciar un proyecto de este tipo, por ejemplo aspectos como el marco regulatorio y la infraestructura física son tomados en cuenta, por otro lado, se establecen los requisitos que se necesitan entre ellos integrar a la población y no mantenerla al margen de las decisiones, tabla 4.40.

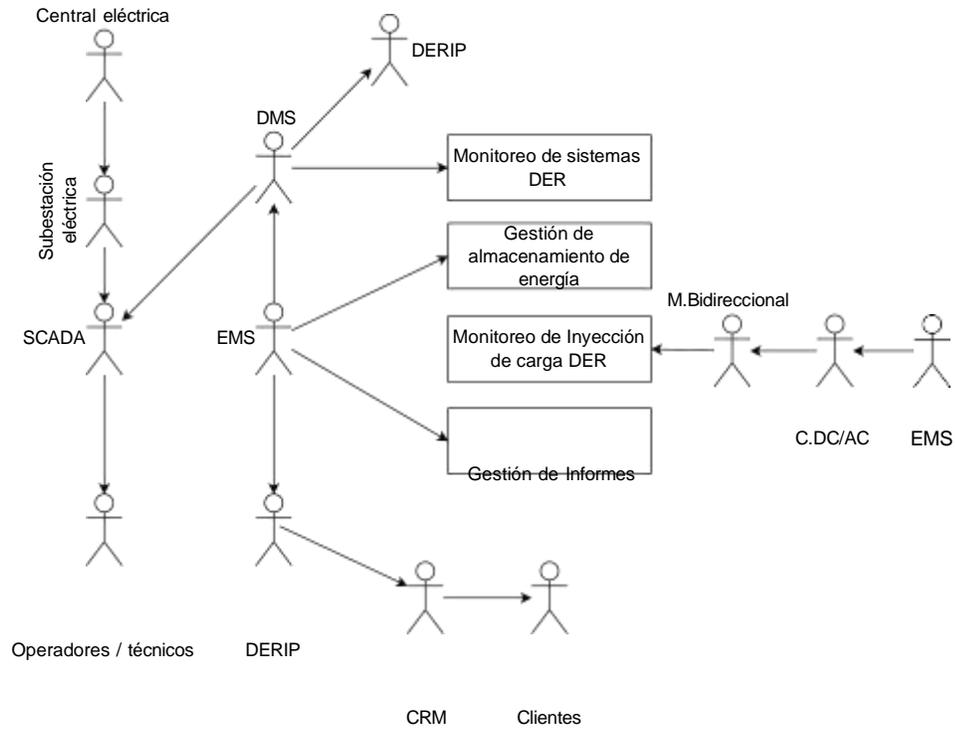
**Tabla 4.40.** Condiciones del caso de uso

<b>Condiciones del caso de uso</b>
<b>Suposiciones</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se cuenta con la disposición de parte de los sectores públicos y privados para la implementación de modelos de energía basados en fuentes DER.</li> <li>2. Los pilotos de energía renovable no producen información relevante que permita saber el nivel de energía que aportan a la red eléctrica.</li> <li>3. Se supone la existencia de un marco regulatorio que incentiva la utilización de energías renovables.</li> <li>4. Disponibilidad en infraestructura física, para la instalación de sensores encargados de analizar las señales generadas en los diferentes dispositivos.</li> </ol>
<b>Requisitos previos</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluación de las necesidades de la población isleña con el fin de proyectar a futuro las demandas energéticas, que avalen la inclusión de nuevos proyectos.</li> <li>2. Los dispositivos encargados de realizar el empalmen entre las diferentes tecnologías deben estar acorde a los estándares internacionales establecidos para tal fin.</li> <li>3. Las fuentes de energías renovables deben ajustarse a la normativa colombiana, su diseño debe ajustarse al de inserción de energía sobrante en la red o simplemente reducción de consumo.</li> <li>4. Actualización inminente de los dispositivos que conforman la red de transmisión.</li> </ol>

Elaboracion Propia.

#### 4.3.2 Diagrama del caso de uso

El diagrama de caso de uso muestra las interacciones que tendrán los diferentes actores durante el proceso de monitoreo de inyección a cargas producto de fuentes DER, se introduce dentro de este caso de uso sistemas de información como son los DERIP y los medidores bidireccionales que se encargan de medir la producción de las fuentes no convencionales, se establecen además 4 funcionalidades que son: monitoreo de sistemas DER, Gestión de Almacenamiento de energía, monitoreo de inyección de carga DER Y Gestión de Informes, figura 4.22.



**Figura 4.22.** Diagrama de caso de uso para la integración de las DER en la red eléctrica.

### 4.3.3 Detalles técnicos

#### 4.3.3.1 Actores

Los actores escogidos para este caso de uso, incluye actores de la red tradicional como son la central eléctrica, las subestaciones y sistemas como el SCADA, además se incluyen sistemas de información y dispositivos de red que actualizarán las diferentes actividades de monitoreo de inyección y que además darán las pautas para que futuros desarrolladores tengan un punto de partida durante un nuevo diseño o actualización de la red, tabla 4.41.

**Tabla 4.41.** Lista de actores involucrados en el caso de uso

Actor	Tipo	Descripción
Central Generadora de Energía.	Infraestructura	Es la encargada de generar y distribuir a las subestaciones la energía producto de combustible fósil además de la producida por fuentes no convencionales, se encuentra localizada en el sector de Punta Evans. monitorea el flujo de energía garantizando una distribución de electricidad confiable y eficiente.
Subestación eléctrica	Infraestructura	San Andrés cuenta con dos subestaciones: el Bight y School House. Se encargan de realizar transformación de tensión y corriente, para luego distribuirlas entre los circuitos de los consumidores
Clientes	Persona	Usuario final del servicio, en la isla de San Andrés estos son residenciales y comerciales.
Sistema de Gestión de la distribución (DMS).	Aplicación	Utilizan los datos de otros dispositivos como el SCADA para medir la confiabilidad de la red.
Operadores / técnicos	Persona	Se encargan de realizar los mantenimientos y otras operaciones físicas como la desconexión.
Sistema SCADA	Aplicación	supervisa y Controla en forma remota equipos de campo, recopila datos y gestiona alarmas .
Sistema de gestión de la energía (EMS)	Sistema de información	Software de monitoreo para optimizar el consumo en los hogares.
Sistemas de Gestión de la Relación con el Cliente (CRM)	Sistema de información	visualiza los datos de consumo al cliente.
Convertidor DC/AC	Dispositivo	Dispositivo encargado de realizar el cambio de energía directa en energía alterna para luego poder inyectarla a la red.
Medidores bidireccionales	Dispositivo	medidor encargado de tener los datos de cuanta energía renovable se produce.
Plataforma de Integración de Recursos Energéticos Distribuidos (DERIP)	Aplicación	Software encargado de supervisar la generación producto de fuentes DER.

Elaboración Propia.

#### 4.3.4 Análisis paso a paso del caso de uso

##### 4.3.4.1 Resumen general de los escenarios

Dentro de los escenarios descritos en este caso de uso, se establecen el funcionamiento normal de los dispositivos que se encargan del monitoreo de los sistemas DER, esta caso de uso se centra en la producción de energía inyectada, esto significa que los escenarios que se tiene en cuenta solo son los de generación. Al considerar estos sistemas se debe tener en cuenta la construcción de infraestructura que contenga sistemas de almacenamiento, por medio de baterías, delo anterior estos también requieren ser considerados y monitoreados, san Andrés presenta un clima que puede perjudicar el almacenamiento, debido a ser tan cálida y además encontrarse en las costas podría reducir la vida útil de estas baterías, tabla 4.42.

#### **4.3.4.2 Resumen general de los escenarios**

**Tabla 4.42.** Resumen de los escenarios del caso de uso: Integración de las DER en la red eléctrica de san Andrés Islas

#	Nombre del escenario	Actores	Descripción del evento	Precondición	Postcondición
1	Monitoreo de sistemas DER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica</li> <li>• Clientes Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Operadores/tecnicos Sistema SCADA</li> <li>• Sistema de gestión de la energía (EMS)</li> <li>• Plataforma de Integración de Recursos Energéticos Distribuidos (DERIP)</li> </ul>	<p>Durante un día normal se reciben las señales de los sensores y medidores dispuestos en los proyectos pilotos de energías renovables, en donde se identifica la producción y el estado de los equipos, el sistema DMS procesa los datos obtenidos de la red así como los medidores bidireccionales se encargan de monitorear los referentes a los clientes, luego esta información es pasada la SCADA que se encarga de realizar las visualizaciones respectivas de información. Durante este procedimiento el sistema emitirá alarmas en caso de encontrar fallas en el funcionamiento, esto sera aplicado a energías que son producto de energía solar como aquellas que son producto de el viento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los sistemas de monitoreo de proyectos DER se encuentran operativos</li> <li>• Hay un excelente sistema de comunicación que permite el intercambio de información bidireccional</li> <li>• Los sistemas de información pueden tomar alguna decisiones de forma automática y de no poder hacerlos transfieren al equipo humano correspondiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema recopila información relevante para la toma de decisiones</li> <li>• El sistema esta en la capacidad de monitorear las fuentes DER y detectar posibles anomalías en tiempo real.</li> </ul>

<p>2</p>	<p>Gestión de almacenamiento DER</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Operadores/técnicos</li> <li>• Sistema SCADA</li> <li>• Sistema de gestión de la energía (EMS)</li> <li>• Plataforma de Integración de Recursos Energéticos Distribuidos (DERIP)</li> </ul>	<p>Mediante la información de producción de energía recopilada por parte de los sensores y medidores de la red se establece la carga almacenada que existe en los sistemas de almacenamiento, que se va a insertar dentro de la nueva red eléctrica para el consumo de los diferentes clientes, se rastrean las energías producto de los proyectos pilotos, s de paneles solares o de viento, insertaran esa producción a la red y los medidores bidireccionales se establecerá cual es el total de carga que sera utilizada, reduciendo la utilización de energías no renovables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los sistemas de almacenamiento deben estar correctamente integrados a la red en los puntos establecidos para tal fin.</li> <li>• Los dispositivos de monitoreo están funcionando de forma adecuada</li> <li>• Las plataformas de comunicaciones permiten le intercambio de datos en tiempo real.</li> <li>• Las baterías se encuentran en funcionamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema es capaz de sostener la estabilidad de la red durante el proceso de gestión de la carga almacenada.</li> <li>• La conversión de energías directa a alterna se realiza sin inconveniente.</li> <li>• Las baterías no presentan gran deterioro por culpa de la temperatura.</li> </ul>
----------	--------------------------------------	---	--	--	--

3	Monitoreo de inyección de carga DER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica</li> <li>• Clientes</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Operadores/técnicos</li> <li>• Sistema Scada</li> <li>• Sistema de gestión de la energía (EMS)</li> <li>• Sistemas de Gestión de la Relación con el Cliente ( CRM)</li> <li>• Convertidor DC/AC</li> <li>• Medidores bidireccionales</li> </ul>	<p>Se supervisa los diferentes sitios escogidos de la red para integrar la carga almacenada por el sistema de baterías y convertirla en energía alterna, los sistemas de información como el DMS y el EMS supervisan esta inyección de carga en la red verificando que no ocurran algún tipo de percance durante esta operación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración de tecnologías adecuadas para el manejo de las cargas producto de las fuentes DER.</li> <li>• Cada uno de los pilotos de energías renovables esta caracterizado, se conoce al detalle cuanta energía produce.</li> <li>• Se cuenta con personal altamente calificados para realizar las operaciones de inyección a la red .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso de gestión de carga de las DER se realiza de forma eficiente.</li> <li>• Se establecen los picos de demanda</li> <li>• La red eléctrica permanece estable durante el proceso de inserción de carga la red.</li> </ul>
---	-------------------------------------	---	--	---	---

4	Gestión de Informes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Central Generadora de Energía.</li> <li>• Subestación eléctrica</li> <li>• Clientes</li> <li>• Sistema de Gestión de la distribución (DMS).</li> <li>• Operadores/tecnicos</li> <li>• Sistema SCADA</li> <li>• Sistema de gestión de la energía (EMS)</li> <li>• Sistemas de Gestión de la Relación con el Cliente (CRM)</li> <li>• Convertidor DC/AC</li> <li>• Medidores bidireccionales</li> <li>• Plataforma de Integración de Recursos Energéticos Distribuidos (DERIP)</li> </ul>	<p>Con la información recopilada de los diferentes dispositivos y medidores que se encuentran en cada uno de los pilotos de energía renovable se logra establecer si algún evento requiere la atención por parte de los técnicos de campo, cuando el DMS emite una señal de alerta el sistema SCADA visualiza esta información y se procede a generar un reporte para la verificación por parte de los operarios responsables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de monitoreo de recursos DER esta activo y funcionando correctamente.</li> <li>• Los dispositivos de almacenamiento emiten las señales correspondientes</li> <li>• Los sistemas de información cuentan con software adecuadas para la gestión de alarmas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de monitoreo detecta cualquier anomalía</li> <li>• En caso de ser necesario se generan las alarmas y notificaciones correspondientes</li> <li>• Se informa a los encargados del mantenimiento para que ejecuten alguna acción.</li> </ul>
---	---------------------	--	--	---	---

Elaboracion Propia.

#### 4.3.4.3 Descripción de los escenarios

En esta sección se presentará en forma precisa cada uno de los escenarios, que se presentan en cada una de las funcionalidades establecidas en el diagrama de caso de uso. Desde el comportamiento que tendrán los sensores y sistemas de información durante el desarrollo de la actividad de monitoreo y control ejecutados diariamente. Hasta las acciones pertinentes realizadas por diferentes actores durante el proceso de inyección de carga a la red, toda esta información es agrupada y entregada a los clientes y operarios en forma de informe, table4.43, tabla4.44, table4.45, tabla4.46, table4.47, tabla4.48, table4.49, tabla4.50, table4.51.

**Tabla 4.43.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de sistemas DER

Escenario		Monitoreo de sistemas DER	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Monitoreo de parámetros eléctricos DER	Supervisión de elementos de proyectos DER	Los sensores y medidores que conforman la red de monitoreo de un proyecto de energía renovable solar o de viento, emite las señales las cuales son detectadas por los sistemas de información en este caso el DMS el cual lo envía la sistema SCADA para su visualización.
2	Análisis de datos	Identificación de patrones	Los datos recolectados se analizan para determinar si se está presentando algún tipo de anomalía.
3	diagnostico de eventos	Valoración de datos	Los datos analizados son valorados para determinar si se esta presentando algún tipo de falla con el fin de tomar las medidas preventivas del caso.
4	Programación de mantenimiento preventivo / correctivo	Ejecución de mantenimiento	Luego de determinar si se encuentra o no una falla se realiza la notificación al área encargada para que realice la inspección y se determine si es necesario o no realizar algún tipo de mantenimiento.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.44.** Continuación del escenario de monitoreo de sistemas DER

Scenario (cont.)				
Nombre del escenario		Monitoreo de sistemas DER		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	GET	DMS	SCADA	c-01
2	CREAR	SCADA	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	c-02
3	EJECUTAR	SUBESTACIÓN	CENTRAL ELÉCTRICA	C-05
4	REPORTAR	SCADA	OPERARIOS /TÉCNICOS	C-05

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.45.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de almacenamiento de energía

Nombre del escenario		Gestión de almacenamiento de energía	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Monitoreo de de almacenamiento	Recopilación de datos de carga	Los sensores en el campo de almacenaje emiten señales que indican el estado de almacenaje de las baterías dispuestas para tal fin , esta información es enviada a través del sistema de información DMS y luego visualizada a través del sistema SCADA
2	Capacidad de almacenamiento	Estado de carga	La carga almacenada emitirá una alerta Cuando los niveles de carga de las baterías tenga su máximo valor, también se registrara si por algún motivo alguno del os dispositivos no almacena la carga de forma optima.
3	Descarga carga almacenada	Inserción carga ala red	La carga almacenada es inyectada al red en algún punto especifico , gracias ala transformación mediante inversores y al a utilización de medidores bidireccionales , el sistema de monitoreo podrá estar al tanto de la cantidad de energía aportada por los sistemas de almacenaje
4	Detección de fallas	Anomalías en el sistema de carga	Luego de verificar la información que es enviada por los sistemas de información como el DMS, se toma decisión respecto ala posible anomalías que pueda estarse presentando, se notifica al os operarios de campo que realizan la debida inspección

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.46.** Continuación del escenario de gestión de almacenamiento de energía

Escenario (cont.)				
Nombre del escenario		Gestión de almacenamiento de energía		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	CREAR	DMS	SCADA	C-01
2	INFORME	MEDIDOR BIDIRECCIONAL	DMS	C-03
3	EJECUTAR	MEDIDOR BIDIRECCIONAL	DMS	C-05, C-06
4	REPORTAR	SCADA	OPERARIOS	C-05

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.47.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de monitoreo de inyección de carga DER

Nombre del escenario		Monitoreo de sistemas DER	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Registro en el sistema de proyecto piloto DER	Configuración del proyecto DER	Al integrar un sistema de energía renovable ya sea solar o eólica, el sistema debe configurarse de manera que el SCADA se encarga de solicitar información al medidor bidireccional y al convertidor DC/AC, para su respectivo monitoreo.
2	Análisis de datos sobre generación DER	Procesamiento de información de proyectos DER	El SCADA se encarga de solicitar la información a los medidores bidireccionales y luego con los sistemas de información presentes se encarga de recopilar datos históricos que le sirvan para la toma de decisiones.
3	Inyección de la carga DER a la red	Ajuste de carga	Los requerimientos de energía son solicitados por la central eléctrica, los convertidores dc/ac se encargan de inyectar la carga, los medidores envían la información al DMS para su análisis.
4	Reporte sobre el estado de los proyectos de energía renovable DER	Generación de informes	El sistema de información DERIP se encarga gestionar los datos sobre los proyectos pilotos de energía DER, el sistema SCADA por otro lado se centrara en los datos de generación de carga, por otro lado el CRM se encarga de presentar el respectivo informe a los clientes.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.48.** Continuación del escenario de monitoreo de inyección de carga DER

Escenario (cont.)				
Nombre del escenario		Monitoreo de consumo eléctrico		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	CREAR	SCADA	CONVERTIDOR DC/AC	C-01,C-07
2	INFORME	MEDIDORES BIDIRECCIONALES	SCADA	C-03. C-06,C07
3	EJECUTAR	CONVERTIDORES DC/AC	DMS	C-05,C-08
4	REPORTAR	DERIP	CRM	C-05, C-08

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.49.** Descripción detallada de los pasos para el escenario de gestión de informes

Escenario		Gestión de informes	
No	Evento	Proceso / Actividad	Descripción del proceso/Actividad
1	Toma de datos de los dispositivos como medidores inteligentes sobre la inyección de carga a la red	Obtención de información de inyección de carga DER	El sistema SCADA recopila los datos, proveniente de los medidores inteligentes luego el EMS se encarga de procesar la información.
2	Estudio de los datos de inyección de carga DER a la red	Interpretación de datos inyección DER	Los datos son analizados por los operarios , estos se utilizan para determinar los beneficios de inyectar cargas de fuentes DER, y verificar que no se tenga fallas de funcionamiento, estos datos son obtenidos del EMS.
3	Elaboración de reportes a partir de los datos estudiados de la generación DER	Generación de informes de la inyección de cargas DER	El sistema DMS proporciona informes detallados para la creación de informes sobre inyección de cargas DER, esta información es pasada al CRM y este es el encargado de presentarlo a los clientes .
4	Revisión de la relevancia de la información producida en los informes sobre la inyección de carga DER	Retroalimentación del proceso de inyección de carga DER	Los datos que el EMS proceso son los que toman los promedios para ajustar le proceso de inyección ala red, esto debido a que el EMS se encarga de analizar el desempeño de dicha inyección.

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.50.** Continuación del escenario de gestión de informes

Escenario (cont.)				
Nombre del escenario		Monitoreo de consumo eléctrico		
Paso	Servicio	Información Producida	Información detectada	Información Intercambiada
1	CREAR	EMS	SCADA	c-01,c-09,c-08
2	EJECUTAR	OPERARIOS / TÉCNICOS	EMS	c-02, c-10
3	INFORME	DMS	CRM	C-05,c-09,c-08
4	REALIMENTAR	EMS	OPERARIOS / TÉCNICOS	C-05, c-10

Elaboracion Propia.

**Tabla 4.51.** Información intercambiada para los escenarios del caso de integración de las DER en la red eléctrica de san Andrés Islas

Información Intercambiada		
ID	Información	Descripción
C-01	Consumo energético	Información detallada de los consumos de los clientes , estos pueden ser tanto de la energía producida con diésel como de las de las fuentes DER.
C-03	Funcionamiento de los dispositivo	Información de el funcionamiento de los dispositivos como sensores, medidores que hacen parte del monitoreo de consumo.
C-04	Capacidad de la red eléctrica	Información de la carga de la red eléctrica , así como la disponibilidad de recursos y la estabilidad de la misma.
C-05	Alarmas	Notificaciones que aparecen en caso de presentarse una anomalía en el funcionamiento de la red eléctrica.
C-06	Tarifas de consumo	Información sobre los costos incurridos por el consumo.
C-07	Datos cantidad de energía DER generada	Información sobre la cantidad de energía producida durante un periodo de tiempo por los pilotos de energía renovable.
C-08	Datos cantidad de energía DER inyectada	Información sobre la cantidad de energía inyectada ala red, durante un periodo de tiempo por los pilotos de energía renovable.
C-09	Análisis de desempeño	Información relevante de los sistemas de información para analizar el desempeño del sistema.
C-10	Estadísticas sobre el proceso de inyección DER	Métricas que permiten comparar la fiabilidad del proceso de inyección.

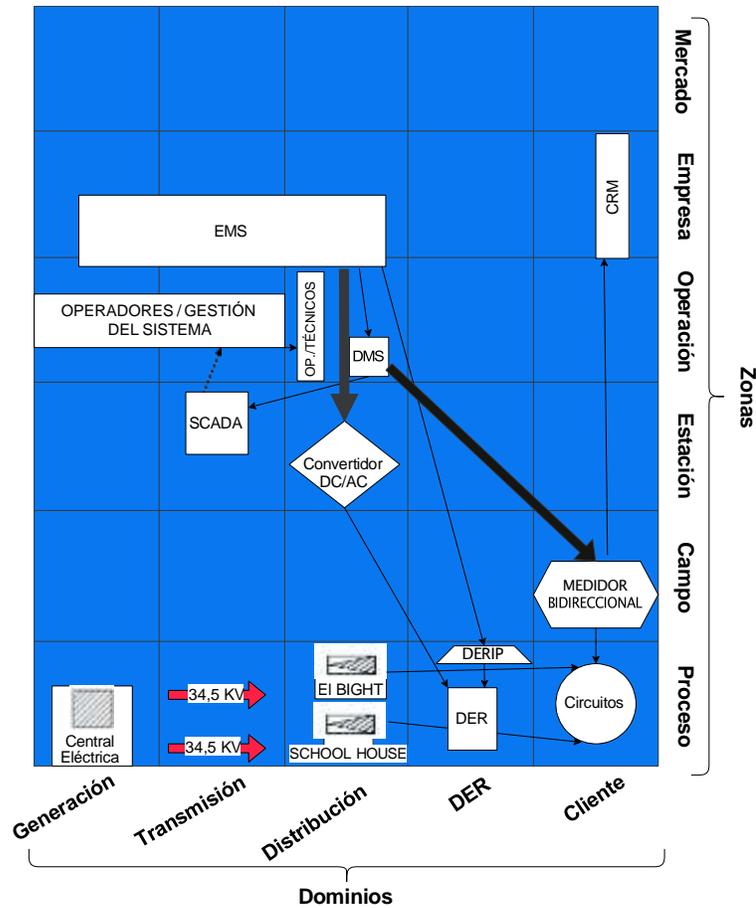
Elaboracion Propia.

### 4.3.5 Modelado SGAM del caso de uso inyeccion de la red

Por último, se establece la arquitectura de monitoreo de inyección de carga la red, mediante la utilización del modelo SGAM, cada uno de los ítems analizados anteriormente de caso de uso, permiten diseñar una estructura como puesta de software y aplicaciones, así como el factor humano. El diseño de las capas del modelo SGAM irán de la mano con los actores y los diferentes sistemas de negocio que para le caso de uso monitoreo de inyección la red puedan utilizarse, se pretende dejar un documento que acople las nuevas tecnologías con las anteriores, garantizando los procesos de interoperabilidad y de ciberseguridad.

#### 4.3.5.1 Capa de componentes

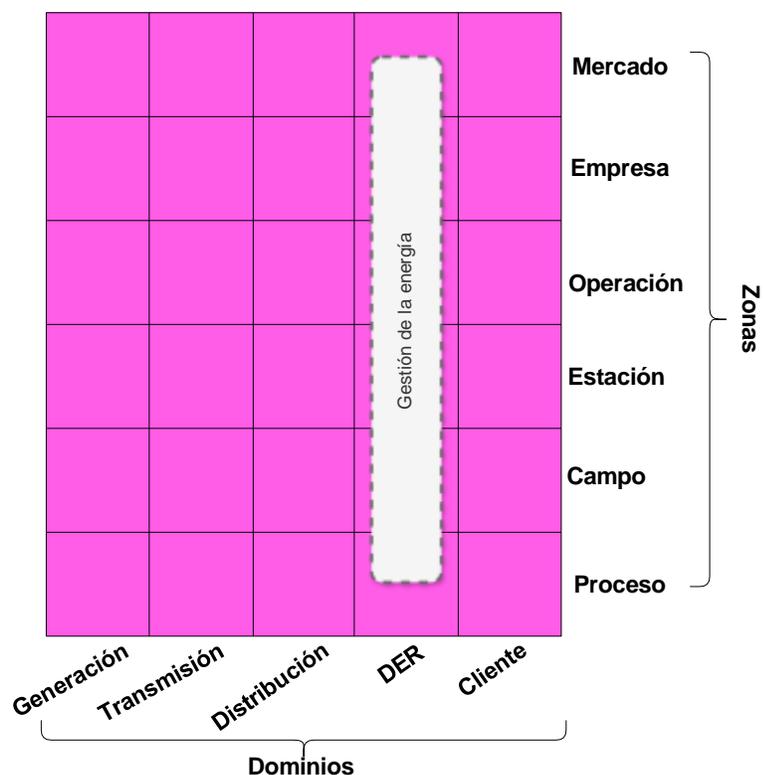
En la capa de componentes se ubica en la zona de procesos, la red eléctrica de San Andrés islas, estos la central generadora que se encuentra en punta Evans las dos lines de transmisión que transportan la energía alas dos subestaciones y estas distribuyen a los usuarios que para la presente investigación se centraran en los residenciales, además en la el dominio DER se incluye la plataforma DERIP, en la zona de campo se ubican los medidores bidireccionales que se encuentran en el dominio de clientes, en la zona de estación se ubica el sistema SCADA los convertidores DC/AC, en la zona de operación se ubican los sistemas de información, así como en la zona de empresa se ubica el CRM, figura4.23.



**Figura 4.23.** Diseño de la capa de componentes para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.

### 4.3.5.2 Capa de negocio

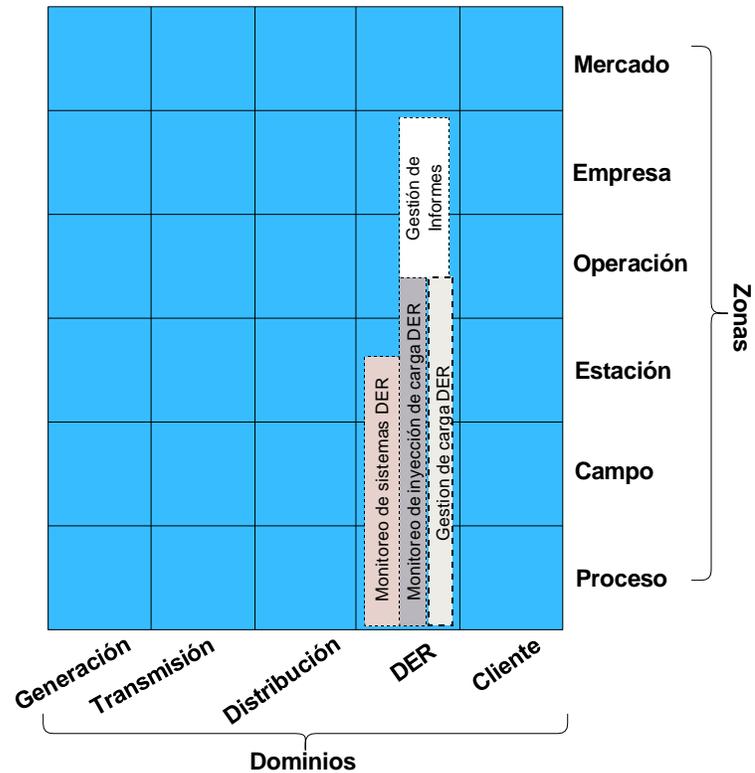
En esta capa ubicamos el caso de negocio gestión de la energía, este lo ubicaremos solo en el dominio de las DER, la razón es porque se va a centrar este caso de uso únicamente en los proyectos pilotos de energías renovables, por otro lado, abarcar todas las zonas desde proceso hasta mercado. De lo anterior, este objetivo es estratégico para poder ejecutar un monitoreo eficiente en las cargas DER en San Andrés islas, aunque hasta el momento se esté realizando estudios y lagunas implementaciones con fuentes provenientes del sol y del viento, este caso de negocio sentaría las bases para futuras implementaciones con proyectos de energías renovables diferentes como por ejemplo al utilizar el movimiento de las olas, figura4.24.



**Figura 4.24.** Diseño de la capa de negocio para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.

#### 4.3.5.3 Capa de función

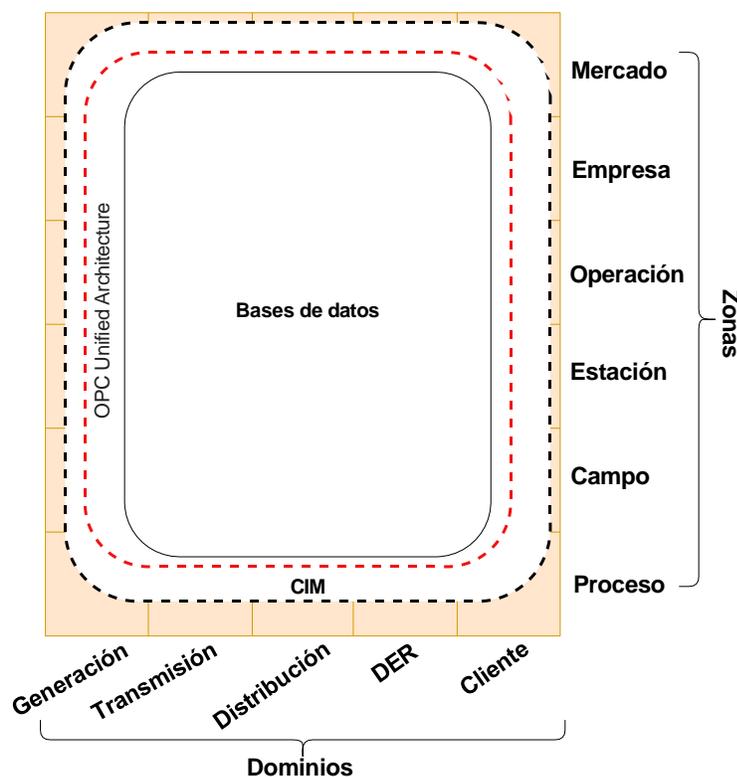
La capa de función de este caso de uso, agrupa las funcionalidades presentadas en el diagrama de caos de uso, todas ellas en el Dominio de las DER, las funciones de monitoreo de inyección las cargas DER y gestión de la carga DER irán desde la zona de procesos hasta la zona de operación, dado que ahí se ejecutan las operaciones de monitoreo con los diferentes dispositivos encargados para tal fin, así mismo en la zona de operación se encuentran los operarios tanto técnicos como de gestión del sistema que son los encargados de las tomas de decisiones. La funcionalidad monitoreó de sistemas DER al tener más que ver con el funcionamiento de los pilotos irá desde procesos hasta la zona de campo que es donde se encuentra el sistema SCADA, la funcionalidad gestión de informes abarca desde la zona de operación hasta la zona de mercado, figura 4.25.



**Figura 4.25.** Diseño de la capa de función para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.

#### 4.3.5.4 Capa de información

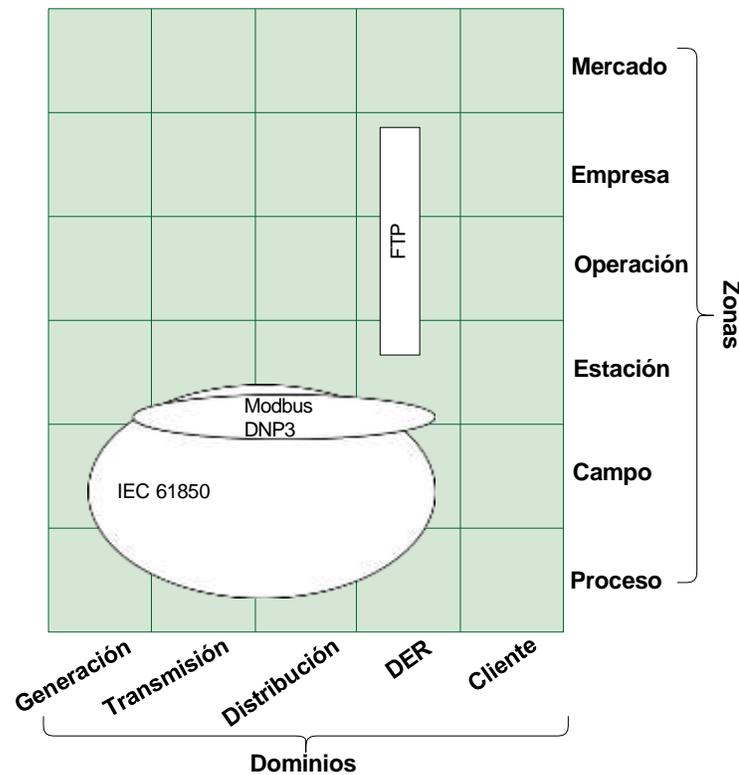
Para el diseño de esta capa se escogieron modelos de datos que fueran versátiles con el manejo de la información, manteniendo los estándares de interoperabilidad y ciberseguridad. Los modelos escogidos fueron: el CIM que para esta propuesta aporta mejoras en la eficiencia de los procesos debido a la analítica de datos que posee permitiendo el manejo de grandes volúmenes de información, este modelo tiene sistemas de seguridad contra ciberataques así mismo permite integrar los datos de diferentes dispositivos y diferentes tecnologías. El segundo modelo escogido es el OPC Unified Architecture, este modelo aporta interoperabilidad entre dispositivos, es un estándar abierto y esto permite que se integren dispositivos sin importar el fabricante, además ofrece una comunicación segura. Y por último el modelo de bases de datos, las cuales se implementan en este proyecto dado la versatilidad que tiene para el manejo de la información, esto ayuda a que se procesen grandes volúmenes de datos, figura 4.26.



**Figura 4.26.** Diseño de la capa de información para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.

#### 4.3.5.5 Capa de comunicación

Para esta capa se escogieron los siguientes protocolos: el Modbus el cual es un sistema de comunicación considerada estándar, permite el envío de datos entre dispositivos como controladores y PLC que sirven para manejar la comunicación entre dispositivos que conforman procesos de automatización, el DNP3 el aporte de este protocolo será el control que puede realizar sobre la comunicación entre dispositivos remotos, es utilizado por sistemas SCADA en la comunicación con terminales RTU, el IEC 61850 aportara protocolos de interoperabilidad en comunicaciones con subestaciones y por último el FTP este protocolo aporta beneficios respecto al tratamiento de los datos como el transporte de archivos para su tratamiento y almacenamiento, la restauración de datos y su alta compatibilidad, figura 4.27.



**Figura 4.27.** Diseño de la capa de comunicación para el caso de uso de integración de las DER en la red eléctrica.

## 4.4 Integración Casos de uso

A continuación, luego de establecer tres casos de uso con funcionalidades diferentes, se tomaran los tres y se integraran en una sola arquitectura de monitoreo, para ellos en cada capa se tendrá en cuenta los componentes u actores que tengan la misma función. Con esto se busca dejar las pautas para mejorar la eficiencia del proceso de energía en San Andrés islas, esta nueva arquitectura permitirá realizar él a análisis de tres aspectos fundamentales en el proceso de energético de las islas. Esto es se podrá tener un mecanismo de toma de datos de parámetros eléctricos de los dispositivos, gestión del consumo residencial y por último la inyección de carga producto de fuentes DER en la nueva red eléctrica, el diseño de esta arquitectura contempla los aspectos de ciberseguridad e interoperabilidad con el fin de no encontrar ningún tipo de percance tecnológico durante su puesta en funcionamiento, los beneficios de esta propuesta para ser implementada en la isla desa Andrés, no solo abarca desde lo tecnológico o la toma de decisiones, además de dar un paso adelante en los temas de sostenibilidad ambiental con el correcto manejo del consumo energético, reduciendo la cantidad de combustible fósil y utilizando las fuentes no convencionales para tener energía limpia.

### 4.4.1 Capa de Componentes integrada

Las tres capas expuestas en los casos de uso anteriores se integran, esta capa alojará todos actores que tengan que ver con la actividad de monitoreo, para esta propuesta se escogieron tres tipos





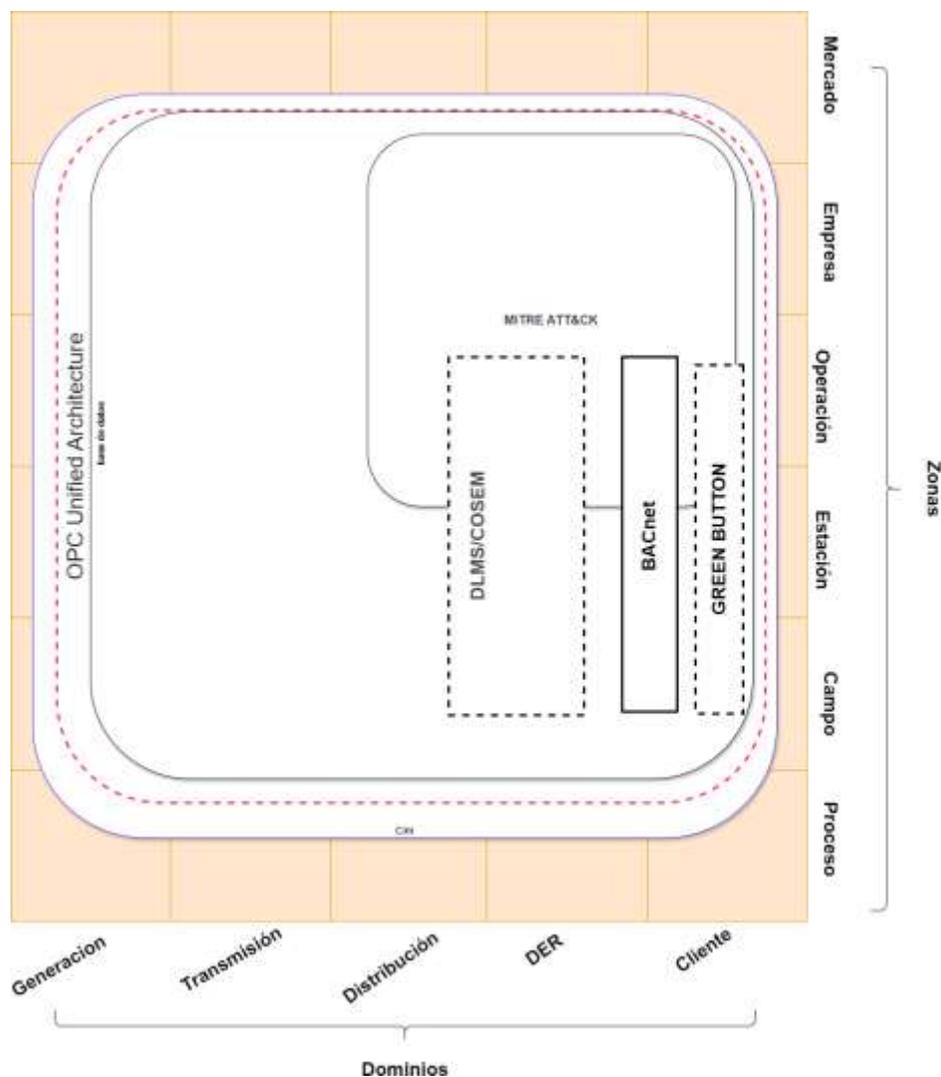


Figura 4.30. Capa de Información Integrada.

#### 4.4.4 Capa de Función integrada

En la capa de función, se integran funcionalidades dispuestas para diferentes actividades y aunque algunas compartan el mismo dominio, su finalidad es el manejo de información es diferente se mezclan actividades de toma de datos referentes al estado de los equipos a partir de las señales que los dispositivos de campo envían sobre los para metros eléctricos, así mismo se envía información referente al consumo residencial y al comportamiento de la carga, también sobre inyección a la red producto de fuentes no convencionales de pilotos de energías renovables, y por último se manejan los datos de la cargabilidad eléctrica, como lo muestra la figura 4.31.

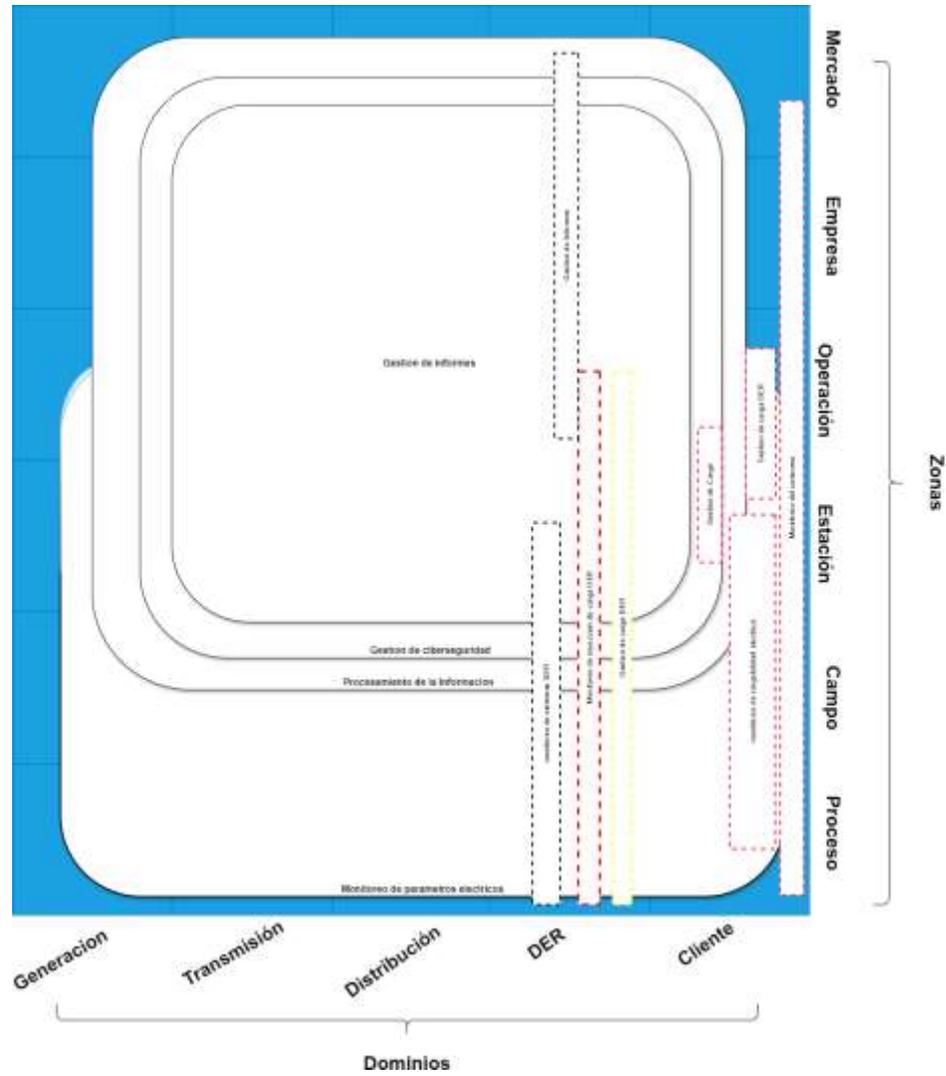


Figura 4.31. Capa de Función Integrada.

#### 4.4.5 Capa de Negocio integrada

En la capa de negocio se integran casos de negocio que ya estaban relacionados entre sí, el caso de negocio con-fiabilidad de los sistemas se relacionan con los casos de uso de gestión de la carga y gestión de la demanda tal como muestra la figura 4.32, esto debido a que este caso de negocio tiene que ver con el buen funcionamiento de la red eléctrica, esto incluye los proyectos pilotos de energía y los dispositivos que se encargan del monitoreo del consumo y de la cargabilidad eléctrica. El caso gestión de la demanda se relacionan con el de la gestión de la energía porque se aborda la inyección de fuentes DER solamente desde la perspectiva residencial. Con esto se crea una capa de negocio que integra tanto el monitoreo de consumo y de generación como el estado del sistema eléctrico.

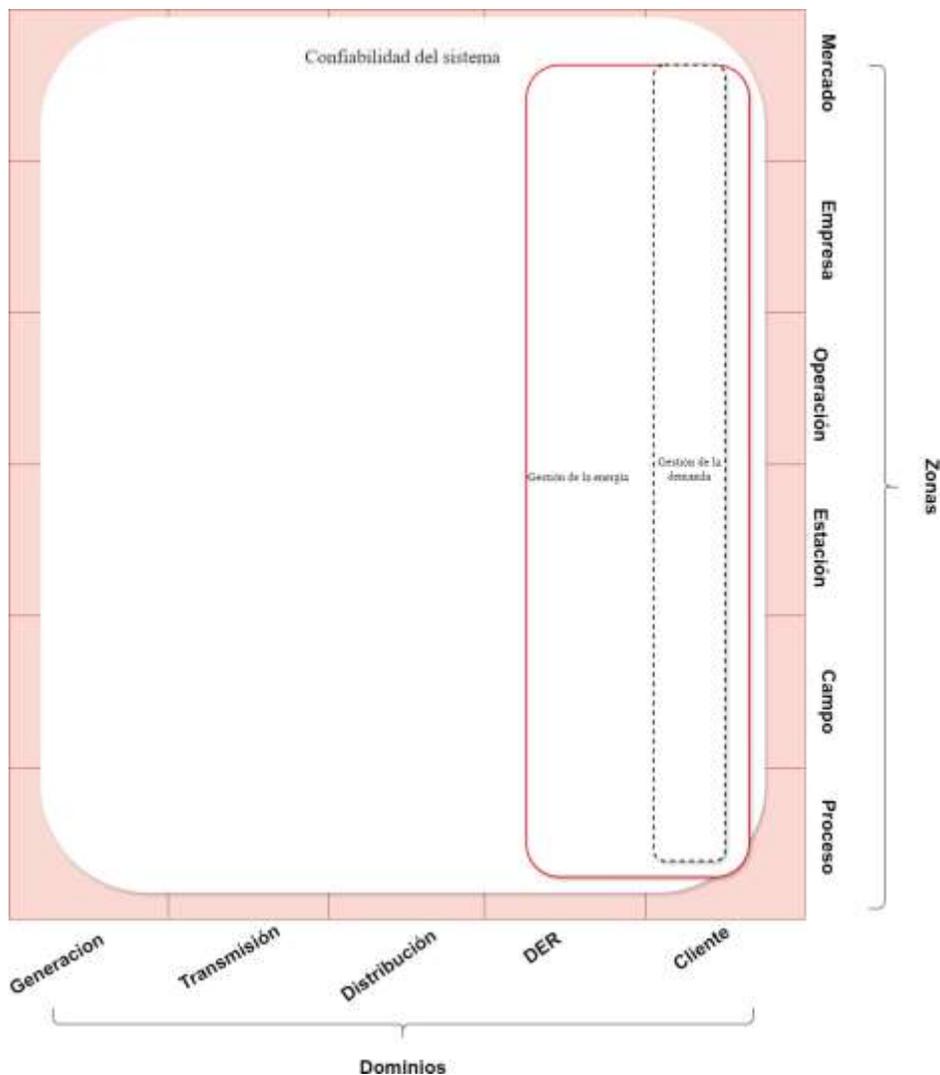
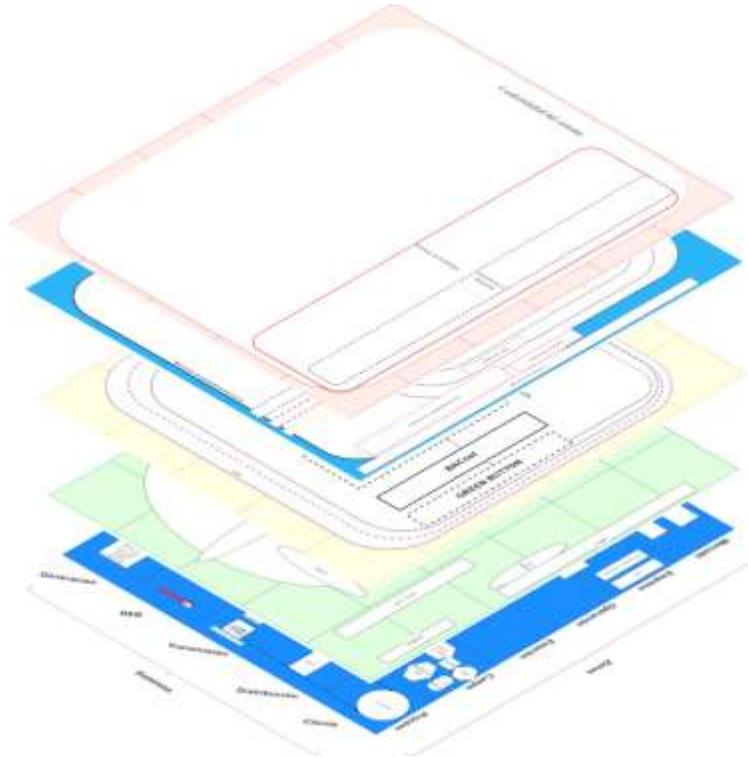


Figura 4.32. Capa de Negocio Integrada.

#### 4.4.6 Modelo SGAM



**Figura 4.33.** Propuesta de Arquitectura de monitoreo y control.

Y por último, el modelo SGAM de la figura 4.33 resultante cubre toda el proceso de generación y distribución de la isla de San Andrés, desde la central generadora ubicada en punta Evans hasta llegar a los usuarios que para esta propuesta son los residenciales. Al encontrar en medio del océano y al ser catalogada como una zona no interconectada, durante mucho tiempo la isla de San Andrés se vio limitada a la utilización de combustible dañino para el medio ambiente y además costoso por ser traído en forma marítima, se plantea una estructura estandarizada, que permitirá la integración de componentes con tecnologías de comunicación y manejo de información, con dispositivos tradicionales que ya se encuentran en funcionamiento dentro de la nueva red. Esta arquitectura se basa en capas, permiten un análisis de tallado de cada uno de los actores que la conforman ante algún evento, esta propuesta tres tipos de monitoreo consumo, estado de la red e inyección de cargas DER. Ideales para ser aplicados en una isla que está en proceso de cambio tecnológico, y en donde muchas de las acciones pertinentes al monitoreo y control necesitan de la injerencia directa de los operarios antes de determinar cuál es la falla real del mismo, San Andrés tiene tendencia a verse afectada por el paso de fuertes vientos, huracanes y tormentas comunes a la zona geográfica en la que se encuentra, con este sistema se busca dejar mecanismos de respuesta inmediata que ayuden a recuperar en poco tiempo el servicio eléctrico y el mantenimiento de la red. Además, el modelo SGAM escogido es adaptable a medios como el que se presenta en la isla, donde el factor climático, la sal en el ambiente producto de la cercanía a la mar pueden llegar a afectar el correcto funcionamiento de los dispositivos presentes, sin mencionar los fenómenos ambientales antes descritos, la característica ajustable y resiliente del modelo, permite ajustar las funciones del mismo para que haga frente a estos inconvenientes. Así mismo la interacción entre los diferentes actores es facilitada, actualmente en la isla de San Andrés solo se cuenta con un operador que

es le encargado dl suministro energético, esto con el tiempo ah polarizado la relación entre la empresa y el cliente , con esta arquitectura se busca mejorar las relaciones entre todos os actores pertenecientes al sistema, y finalmente este modelo está compuesto por tecnologías y protocolos que aseguran el proceso de información mediante mecanismos para el tratamiento de datos y sistema de ciberseguridad que hagan frente a los ataques cibernéticos.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Luego de llevar a cabo la investigación correspondiente, que produce una arquitectura de monitoreo y supervisión de la red eléctrica de San Andrés islas, basada en tres casos de uso, se concluye que:

De las metodologías estudiadas para el diseño de una arquitectura de monitoreo, se escoge el modelo SGAM debido a su estructura y manejo claro de los estudios de caso, fácil manejo de la interoperabilidad entre equipos, integración de DER y TICS, flexibilidad, manejo modular resiliencia, Además está enfocado a la seguridad que aunque para la isla de San Andrés no cuenta en sus registros con ataques cibernéticos deja las pautas necesarias para manejar este tipo de situaciones, aunque el tamaño de la red eléctrica de San Andrés no es muy grande permite que a futuro se hagan ajustes de acuerdo al aumento de la población, su diseño por capas da una visión más amplia de la red y la integración de las fuentes no convencionales dado sus principios de interoperabilidad de los equipos es eficiente. Con esto se cumple el primer objetivo específico de esta propuesta, que consistía en Identificar metodologías para establecer arquitectura de Smart Grids.

Los requerimientos de interoperabilidad de la arquitectura garantizan el intercambio de información, esto debido a la utilización de protocolos en cada uno de sus tres casos de uso que avalan compartir información entre diferentes equipos así no tengan el mismo fabricante, esto teniendo en cuenta factores como el flujo de datos en forma bidireccional. Para la plataforma PIMMA tendrá un nuevo conjunto de actividades basada en la interacción de los clientes con la empresa prestadora del servicio, dará un valor agregado en comunicación de datos y en gestión de ciberseguridad dado que los dispositivos y sistemas de información utilizan cifrado y encriptación de usuario, además gestiona los eventos y los actores que utilicen el sistema deben estar debidamente autenticados. Con esto se cumple el segundo objetivo específico de esta propuesta que establecía requerimientos de interoperabilidad y ciberseguridad en arquitectura como aporte a la plataforma PIMMA.

Luego de proponer tres estudios de caso referentes a aspectos diferentes del monitoreo eléctrico, al utilizar la metodología SGAM para estos casos se logra integrarlos de manera que se funcionen en una sola arquitectura, algunos de los actores manejan las mismas actividades de intercambio de información y los que tiene diferentes funciones pueden ser integrados en entre los dominios y zonas sin presentar algún tipo de interferencia. Con esto se cumple el tercer objetivo específico de esta propuesta que requería proponer al menos un caso de uso.

La arquitectura de monitoreo de estado de la red eléctrica de San Andrés Islas, basada en el caso de negocio confiabilidad de la red, se presenta como una alternativa para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico de las islas, mediante la realización de actividades como el monitoreo de los

parámetros eléctricos, el procesamiento de la información, la gestión de la ciberseguridad y la gestión de informes. La arquitectura tuvo en cuenta factores como la interoperabilidad, escogiendo protocolos abiertos como, por ejemplo, el Modbus. Este tipo de protocolos facilitarían en un futuro la integración de los diferentes equipos. Además, la ciberseguridad entre los diversos dispositivos que conformarían la nueva red, se garantiza dado la utilización de modelos que encripten los datos que son comunicados a través de los sistemas de Comunicación y se hace evidente que las plataformas tecnológicas y los sistemas de información existentes en el mercado son capaces de integrar una nueva red inteligente para la isla, permitiendo detectar a tiempo fallas en la operación de dispositivos pertenecientes a diferentes Dominios del modelo SGAM.

La arquitectura de monitoreo consumo energético incluye dispositivos de medición como el AMI, estos permiten tener una lectura con un máximo de precisión y garantizan la toma de datos de forma ininterrumpida, Además son capaces de interactuar con otros dispositivos dentro de la red, los usuarios podrán controlar los picos de consumo, y los sistemas de cargabilidad en la movilidad eléctrica que están instalados en los hogares funcionaran de forma eficiente reduciendo las pérdidas dando un adecuado uso de la energía consumida, la relación de los dispositivos de medición, necesita de sistemas de información capaces de gestionar grandes volúmenes de datos como es el MDM, monitoreo en tiempo real como el EMS y control del proceso de distribución de red como el DMS y sistemas de interacción empresa- cliente utilizando el CRM.

La arquitectura de monitoreo de integración de las DER, resulta ser un documento que permite integrar cargas producto de pilotos de energía renovable en la red, manteniendo su estabilidad, debido a sus funcionalidades como monitoreo de sistemas DER, sistemas de almacenamiento, monitoreo inyección de las cargas DER Y gestión de informes. Los sistemas de almacenamiento de energía en la isla de San Andrés pueden tener factores negativos como el clima que puede afectar la duración de las baterías que la componente, la isla tiene como pilar proyectos de energía renovables por el sol, aunque se realizan estudios previos para empezar a utilizar la eólica, la inyección a red producto de estas cargas necesita de la ubicación de puntos estratégicos dentro de la red para realizar estas acciones.

Y, por último, la arquitectura Smart Grids que integra los tres casos de uso propuesta, puede realizar labores de monitoreo del estado de la red en puntos clave como la generación, transmisión, distribución, proyectos DER y clientes que en estos casos se tienen en cuenta a los residenciales. Además, es capaz de supervisar los consumos en los hogares, considerando la inyección de cargas de fuentes DER residenciales para la reducción del consumo y la interacción con sistemas de cargabilidad de movilidad eléctrica. En cuanto a las fuentes no convencionales, controla la inyección de las cargas producto de pilotos de fuentes no convencionales que, en el caso de la isla de San Andrés, son de tipo solar, aunque se encuentra en estudio para impulsar proyectos de energía eólica. Con esto se cumple el objetivo general de esta propuesta, se deja un documento que propone una arquitectura de Smart Grids para sistemas de monitoreo, supervisión y control para su implementación en proyectos de energía renovable en la isla de San Andrés.



## 5.2 Recomendaciones

Algunas recomendaciones con base en la propuesta de arquitectura de monitoreo para la red eléctrica de San Andrés islas y las conclusiones que arroja este trabajo son las siguientes:

El modelo SGAM posee muchos beneficios al ser implementado en proyectos de monitoreo de redes eléctricas, ahora bien, al momento de realizar este tipo de adecuaciones es necesario contar con toda la información posible, conocer los actores que conforman el sistema, saber las limitaciones iniciales con las que cuenta la red que en este caso es la de San Andrés islas, ya que con esto se logra planificar la integración de los dispositivos necesarios para cumplir las labores de monitoreo.

Los protocolos por utilizar no deben limitarse a tecnologías y dispositivos de un fabricante en particular, esto garantizará que la información fluya correctamente a través de la red, se debe mantener registros de las actividades diarias, así como de planes de capacitación de usuarios sobre estrategias de protección de datos y de manejo adecuado de las plataformas tecnológicas.

La empresa encargada de la prestación del servicio energético en San Andrés islas, de querer implementar un proyecto como este, debe estar en la disposición de entregar la mayor información posible respecto a la red. Los casos de uso son herramientas esenciales en el diseño de arquitecturas de monitoreo, no obstante para realizar un buen caso de uso la persona encargada debe tener a su disposición información clara y verídica de la red eléctrica de San Andrés islas, esto ayudará a establecer el alcance del estudio de caso y permitirá identificar el mayor número de actores que interviene en el proceso energético, oportunidades y mejoras.

Los encargados de administrar el sistema de monitoreo deben recibir capacitación respecto a la utilización de nuevas tecnologías como por ejemplo en la utilización del sistema SCADA permitiendo la transmisión tecnológica de manera ágil, además en sistemas de información como el manejo de bases de datos esto le dará las herramientas necesarias para la toma de decisiones basadas en el tratamiento de la información.

## Referencias

- Alaerjan, A. S. (2021). Model-Driven Interoperability Layer for Normalized Connectivity across Smart Grid Domains. *IEEE Access*, 9, 98639–98653. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3096043>
- Amankumar. (2023). *An overview of The OSI Model and its Seven Layers*. <https://medium.com/@amankumar2006281/an-overview-of-the-osi-model-and-its-seven-layers-2d0c0db25ff3>
- BinaryTerms. (2022, December 10). *Use Case Relationship*. BinaryTerms. <https://binaryterms.com/use-case-relationship.html>
- Buticchi, G., Lam, C. S., Ruan, X., Liserre, M., Barater, D., Benbouzid, M., Gomis-Bellmunt, O., Paja, C., Kumar, C., & Zhu, R. (2021). The Role of Renewable Energy System in Reshaping the Electrical Grid Scenario. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 2, 451–468. <https://doi.org/10.1109/OJIES.2021.3102860>
- CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group. (2014). *SGAM User Manual-Applying, testing & refining the Smart Grid Architecture Model (SGAM)*. [https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN-CENELEC\\_Topics/Smart%20Grids%20and%20Meters/Smart%20Grids/2\\_sgcg\\_methodology\\_overview.pdf](https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN-CENELEC_Topics/Smart%20Grids%20and%20Meters/Smart%20Grids/2_sgcg_methodology_overview.pdf)
- CISCO. (2012). *Solution Overview Cisco GridBlocks Architecture: A Reference for Utility Network Design*. <https://eecs.wsu.edu/~bakken/GB/CiiscoArchOverviewPaper.pdf>
- Cisco Systems, Inc. (2023). *¿Qué es el monitoreo de red?* [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/solutions/automation/what-is-network-monitoring.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/automation/what-is-network-monitoring.html)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (2013, October 24). *Zonas no Interconectadas*. <https://Creg.Gov.Co/Publicaciones/7821/Zonas-No-Interconectadas/>.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2023, August 1). *La CREG establece nuevos procedimientos para supervisar la formación de precio en la bolsa de energía*. <https://creg.gov.co/publicaciones/15600/la-creg-establece-nuevos-procedimientos-para-supervisar-la-formacion-de-precio-en-la-bolsa-de-energia/#:~:text=El%20objetivo%20de%20esta%20Resoluci%C3%B3n%20es%20establecer%20par%C3%A1metros,bolsa%20de%20energ%C3%ADa%2C%20vigilando%20que%20estas%20sean%20competitivas>.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2014). *Ley\_1715\_de\_2014*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Essakiappan, S., Chowdhury, P. R., Schneider, K. P., Laval, S., Prabakar, K., Manjrekar, M. D., Velaga, Y. N., Shepard, N., Hambrick, J., & Ollis, B. (2021). A Multi-Site Networked Hardware-in-the-Loop Platform for Evaluation of Interoperability and Distributed Intelligence at Grid-Edge. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 8, 460–471. <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2021.3103496>
- Gobernación del archipiélago de San Andrés y Providencia. (2015). *Geografía del*

Archipelago.

[https://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=116](https://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=116)

- Gopstein, A., Nguyen, C., O'Fallon, C., Hastings, N., & Wollman, D. (2021). *NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 4.0*. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1108r4>
- Gottschalk, M., Uslar, M., & Delfs, C. (2017). The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach The IEC 62559-2 Use Case Template and the SGAM Applied in Various Domains. In *SpringerBriefs in Energy* (pp. 11–82). <http://www.springer.com/series/8903>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, Ed.; McGRAW-HILL).
- Hojčková, K., Sandén, B., & Ahlborg, H. (2018). Three electricity futures: Monitoring the emergence of alternative system architectures. In *Futures* (Vol. 98, pp. 72–89). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.12.004>
- Howlader, A. M., Sadoyama, S., Roose, L. R., & Sepasi, S. (2018). Distributed voltage regulation using Volt-Var controls of a smart PV inverter in a smart grid: An experimental study. *Renewable Energy*, 127, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.058>
- Hu, J., Yang, G., Kok, K., Xue, Y., & Bindner, H. W. (2017). Transactive control: a framework for operating power systems characterized by high penetration of distributed energy resources. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 5(3), 451–464. <https://doi.org/10.1007/s40565-016-0228-1>
- Inga, E. (2012). Redes de Comunicación en Smart Grid. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 7, 36–55. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505554811005>
- i-scoop. (2018). *Smart grids: electricity networks and the grid in evolution*. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/smart-grids-electrical-grid/>
- Jabr, R. A., & Dzafic, I. (2022). Distribution Management Systems for Smart Grid: Architecture, Work Flows, and Interoperability. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 10(2), 300–308. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2021.000542>
- Johnson, J., Fox, B., Kaur, K., & Anandan, J. (2021). Evaluation of Interoperable Distributed Energy Resources to IEEE 1547.1 Using SunSpec Modbus, IEEE 1815, and IEEE 2030.5. *IEEE Access*, 9, 142129–142146. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3120304>
- Kumar, S., Dalal, S., & Dixit, V. (2014). THE OSI MODEL: OVERVIEW ON THE SEVEN LAYERS OF COMPUTER NETWORKS. In *International Journal of Computer Science and Information Technology Research* (Vol. 2). [www.researchpublish.com](http://www.researchpublish.com)
- Lezama, F., Soares, J., Hernandez-Leal, P., Kaisers, M., Pinto, T., & Vale, Z. (2019). Local Energy Markets: Paving the Path Toward Fully Transactive Energy Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 34(5), 4081–4088. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2018.2833959>
- Lima, C. (2011). *Smart Grids IEEE P2030*.
- Llano, M. (2015). La Micro-red Inteligente: una ciudad eficiente, en miniatura. *Revista*

- Universitas Científica*, 18, 24–29.
- MARTÍN, G. (2016). *Sistemas de Almacenamiento de Energía*.
- Navntoft, C., Biurrún, N., Cristófalo, M. P., González, M., Maríncola, L., & Raggio, D. (2019). *Introducción a la Generación Distribuida de Energías Renovables*. Secretaría de Gobierno de Energía.  
<https://www.researchgate.net/publication/344166339>
- novelec. (2017). *¿Cómo funciona una Smart Grid?*  
<https://blog.gruponovelec.com/blog/como-funciona-smart-grid/>
- Priyadarshini, I., Bhola, B., Kumar, R., & So-In, C. (2022). A Novel Cloud Architecture for Internet of Space Things (IoST). *IEEE Access*, 10, 15118–15134.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144137>
- Ramli, M. A. M., & Bouchekara, H. R. E. H. (2020). Solving the problem of large-scale optimal scheduling of distributed energy resources in smart grids using an improved variable neighborhood search. *IEEE Access*, 8, 77321–77335.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986895>
- Ramos, J., Areu, O. H., Carlos, R., & Freire, S. (2019). APLICACION DE LA COMPUTACIÓN Sistema de supervisión para el monitoreo de redes eléctricas inteligentes Supervision system for the monitoring of smart electric networks. *Ingeniería Energética*, 40(3). <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>
- Rodolfo, A., Tufiño, Q., Josafat, E., & Zapata, C. (2015). *ARQUITECTURA Y GESTIÓN DE DATOS DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA APLICADO EN SMART GRID Quito-Ecuador*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Rosado, J. (2019). *COMUNICACIÓN DE DATOS Y OPERACIÓN DE LA ENERGÍA EN UNA SMART GRID*. Tecnológico Nacional de Mexico.
- Rouse, M. (2017, January 26). *What Does Smart Grid Mean?*  
<https://www.techopedia.com/definition/692/smart-grid>
- Ruiz, M., & García, M. (2015). Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica reutilizando redes celulares. *Prim. Congr. Int. y Expo Científica*.  
<https://www.researchgate.net/publication/259869925>
- Saxena, S., Farag, H. E. Z., Brookson, A., Turesson, H., & Kim, H. (2021). A Permissioned Blockchain System to Reduce Peak Demand in Residential Communities via Energy Trading: A Real-World Case Study. *IEEE Access*, 9, 5517–5530. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047885>
- Schenke, E., & Pérez, M. (2018). Un abordaje teórico de la investigación cualitativa como enfoque metodológico 1. *ACTA Geográfica*.
- Shirzeh, H., Naghdy, F., Ciufu, P., & Ros, M. (2015). Balancing energy in the smart grid using distributed value function (DVF). *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(2), 808–818. <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2363844>
- Spencer, J. (2021, May 21). *Smart grid interoperability – new models and concepts*.  
<https://www.smart-energy.com/smart-grid/smart-grid-interoperability-new-models-and-concepts/>
- Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y redes de computadores* (Prentice Hall, Ed.; Vol. 6).

- Stefan, M., Zehetbauer, P., Cejka, S., Zeilinger, F., & Taljan, G. (2020). Blockchain-based self-consumption optimisation and energy trading in renewable energy communities. *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, 2020(1), 371–374.  
<https://doi.org/10.1049/oap-cired.2021.0061>
- The GridWise Architecture Council. (2008). GridWise® Interoperability Context-Setting Framework The GridWise Architecture Council. In *GridWise® Interoperability Context-Setting Framework The GridWise Architecture Council* (pp. 10–30).  
[www.gridwiseac.org](http://www.gridwiseac.org)
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2016). *Smart Grids Colombia: Visión 2030 Parte III Política y Regulación*.
- UPME. (2016a). *Mapa de Ruta: Construcción y Resultados (COMPONENTE I)*.
- UPME. (2016b). *Smart Grids Colombia Visión 2030 Parte I*.
- Veichtlbauer, A., Langthaler, O., Andrén, F. P., Kasberger, C., & Strasser, T. I. (2021). Open information architecture for seamless integration of renewable energy sources. *Electronics (Switzerland)*, 10(4), 1–35.  
<https://doi.org/10.3390/electronics10040496>
- Zhong, G., Xiong, K., Zhong, Z., & Ai, B. (2021). Internet of things for high-speed railways. *Intelligent and Converged Networks*, 2(2), 115–132.  
<https://doi.org/10.23919/icn.2021.0005>
- Zia, M. F., Benbouzid, M., Elbouchikhi, E., Muyeen, S. M., Techato, K., & Guerrero, J. M. (2020). Microgrid transactive energy: Review, architectures, distributed ledger technologies, and market analysis. In *IEEE Access* (Vol. 8, pp. 19410–19432). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2968402>