



**UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO**



TESIS

**INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES
COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES
ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA
TENSIÓN EN LA REGIÓN
DEL CUSCO**

**PRESENTADA POR
DONATO MAMANI PARI**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**JULIACA-PERÚ
2018**



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO

TESIS

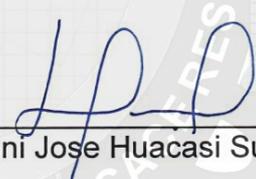
INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES
COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES
ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA
TENSIÓN EN LA REGIÓN
DEL CUSCO

PRESENTADA POR
DONATO MAMANI PARI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

APROBADA POR EL JURADO:

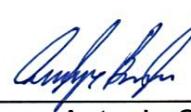
PRESIDENTE


Mgtr. Giovanni Jose Huacasi Supo

PRIMER MIEMBRO :


Mgtr. Porfirio Ulises Hurtado Chavez

SEGUNDO MIEMBRO :


Dr. Marco Antonio Quispe Barra

ASESOR DE TESIS :


Dr. Luis Manuel Terrazos Ungaro



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 496 – 2018 – USA – EPG/UANCV–J

Juliaca, 2018 Mayo 31

VISTOS:

El expediente N° 10447 del (a) Bach; **MAMANI PARI DONATO**, con número de matrícula 1610100555 de la Maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Mención: Sistemas Energéticos y Mantenimiento, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca;

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bach.; **MAMANI PARI DONATO**, con número de matrícula 1610100555 de la Maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Mención: Sistemas Energéticos y Mantenimiento, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca; ha Solicitado la Sustentación del Dictamen de Tesis denominado **INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA TENSIÓN EN LA REGIÓN DEL CUSCO.** Para ser sustentada;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 02 de Abril del 2018, establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento de para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 74 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- NOMBRAR a los miembros del Jurado que calificarán la sustentación de la tesis del (a) Bach; **MAMANI PARI DONATO**, con número de matrícula 1610100555 de la Maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Mención: Sistemas Energéticos y Mantenimiento, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca; quien ha presentado el Dictamen de Tesis. **INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA TENSIÓN EN LA REGIÓN DEL CUSCO.** Nominado como **ASESOR (a)** el Dr. Luis Manuel Terrazos Ungaro y siendo los jurados los siguientes docentes:

Presidente	:	Mgtr.	GIOVANNI JOSE HUACASI SUPO
Primer Miembro	:	Mgtr.	PORFIRIO ULISES HURTADO CHAVEZ
Segundo Miembro	:	Dr.	MARCO ANTONIO QUISPE BARRA

ARTÍCULO SEGUNDO.- DETERMINAR que la fecha de sustentación de Tesis, que se llevará a cabo fijando el siguiente lugar, fecha y hora:

Fecha	:	Jueves 14 de junio del 2018
Hora	:	11:00 a.m.
Local	:	Aula 209 Escuela de Posgrado - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado de **MAESTRO** a los estudiantes que ingresaron posterior a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

ARTÍCULO TERCERO.- ELEVAR la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.

Cc: Archiv EPG (01)
Interesado (01)
Cargo (01)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. EPGCO Obdolio Córdova Menis
DIRECTOR



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Lu. Eusebio Aguilar
SECRETARIO ACADÉMICO



A Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza de seguir adelante.

A mis Padres: Pablo y Damiana quienes me guían desde el cielo

A mis hermanos: Enrique y Jesús por su aliento
A mi esposa: Claudia por su comprensión y apoyo

A mis hijos: Roosbel, Nancy, Wilson y Leslie por apoyo permanente

A mis nietos: Gabriel, Thiago y Arturo Adriano por refrescarme moralmente.

A María y Edgar: Por su identificación

Donato



No podemos finalizar esta travesía, sin antes agradecer la colaboración de todas aquellas personas y entidades que han hecho posible su realización.

En primer lugar, a mi asesor Dr. Luis Manuel Terrazos Ungaro, que con su sabia dirección y ayuda se ha llegado a un feliz término de este trabajo de tesis

En segundo lugar a todos los Profesores de la Maestría y en especial a mis jurados de la tesis: Mgt. Giovanni Huacasi Supo, Mgt. Porfirio Hurtado Chávez y Dr. Marco Quispe Barra de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca.

Finalmente a Bach. Daniel Tamata Solorio por su colaboración y apoyo para la exitosa conclusión de la tesis

El autor



PRESENTACIÓN

Señor Director de la Escuela de Posgrado y coordinador de la Maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca.

Señores Miembros del Jurado de la Maestría en Ingeniería Mecánica Eléctrica.

En cumplimiento de las normas vigentes del reglamento para la obtención del Grado de Magíster de la Escuela de Posgrado, presento a vuestra consideración la tesis de Investigación intitulado **“INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES DE MEDIA TENSIÓN EN LA REGIÓN DEL CUSCO”**, tema que es de actualidad y de necesidad primordial para la óptima operación de sistemas eléctricos de distribución, que en adelante servirá de guía para los interesados en estudios de generación distribuida y redes inteligentes aplicando software de **DigSILENT 15.1.2 PowerFactory** al sistema eléctrico de Sicuani.

La presente tesis de investigación presento para optar al grado **Académico de Maestro en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**, Mención: Sistemas Energéticos y Mantenimiento.

El autor



ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	42
2.3.1. Definición de Generación Distribuida (GD).....	42
2.3.2. Microrredes Eléctricas.....	43
2.3.3. El medidor inteligente.....	46



- 2.3.4. Concepto de red inteligente..... 48
- 2.3.5. Proceso de análisis para la implementación de Smart Grid.....49
- 2.4. HIPÓTESIS..... 54
 - 2.4.1. Hipótesis general..... 54
 - 2.4.2. Hipótesis específicas..... 54
- 2.5. VARIABLES E INDICADORES.....55
 - 2.5.1. Variables..... 55
 - 2.5.2. Indicadores..... 55

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

- 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA..... 57
- 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA..... 61
- 3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 61
- 3.4. DISEÑO DE LA CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... 62
- 3.5. ESTILO O NORMA DE REDACCIÓN..... 62

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE OPERATIVIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE SICUANI CON LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN

DISTRIBUIDA 2016

- 4.1. INTRODUCCIÓN..... 63
- 4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO AREA SUR ESTE..... 64
- 4.3. ÁMBITO GEOGRÁFICO..... 65



4.4. MERCADO ELECTRICO.....	66
4.4.1. Proyección de la Demanda al Año 2016.....	67
4.4.2. Métodos de Proyección.....	68
4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO AREA SUR ESTE.....	64

CAPÍTULO V

PERFIL DE UN MODELO DE REDES INTELIGENTES (SMART GRID) PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

5.1. Introducción.....	95
5.2. Calidad de suministro.....	95

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS



RESUMEN

Los sistemas energéticos en la región del Cusco están experimentando cambios relevantes, de sistemas centralizados hacia los sistemas energéticos distribuidos, porque estos sistemas emergentes utilizan las energías renovables, los nuevos conceptos y las innovaciones tecnológicas, con grandes interrogantes actuales que está relacionado con la generación y la demanda de energía eléctrica que se incrementa aceleradamente, específicamente en el actual del sistema eléctrico Sicuani con y sin generación distribuida, analizando el comportamiento de las redes de distribución para una proyección de demanda eléctrica al 2016, los cuales han traído consigo la saturación de las redes distribución, incremento de pérdidas y afectando la calidad del servicio.

Por lo tanto, en esta tesis de investigación se plantea en primera instancia un análisis de la problemática que conlleva la configuración de los sistemas eléctricos actuales, luego se plantean las alternativas de solución importantes y sus requerimientos que dirigen la evolución del sistema de distribución de energía eléctrica hacia **Smart Grid**, con integración de energía renovable que le brinda mayor seguridad e inteligencia al sistema, con infraestructura de medición avanzada, integrando las tecnologías de la información y la comunicación, ofreciendo un mayor aprovechamiento de las fuentes de energía alternativa como generación distribuida, dando a conocer las ventajas y desventajas que



conlleve la incorporación de la generación eléctrica distribuida de Langui y Hercca en el sistema eléctrico de distribución Sicuani.

Una de las propuestas importantes es el cambio de paradigma con un nuevo modelo de redes inteligentes aplicadas al alimentador SI-01 de Sicuani, para dar una alternativa de solución a la problemática de Interrupciones, automatizando las redes de distribución de suministro de la energía eléctrica y obtener una respuesta más rápida frente a las fallas externas con indicadores SAIFI y SAIDI y una adaptación al uso de los sistemas de protección inteligentes con equipos de tecnología de punta.

Palabras clave: red de energía inteligente, Smart Grid, sistema eléctrico de Sicuani, fuentes de energía distribuida, infraestructura de medición avanzada, calidad de suministro, SAIFI, SAIDI



ABSTRACT

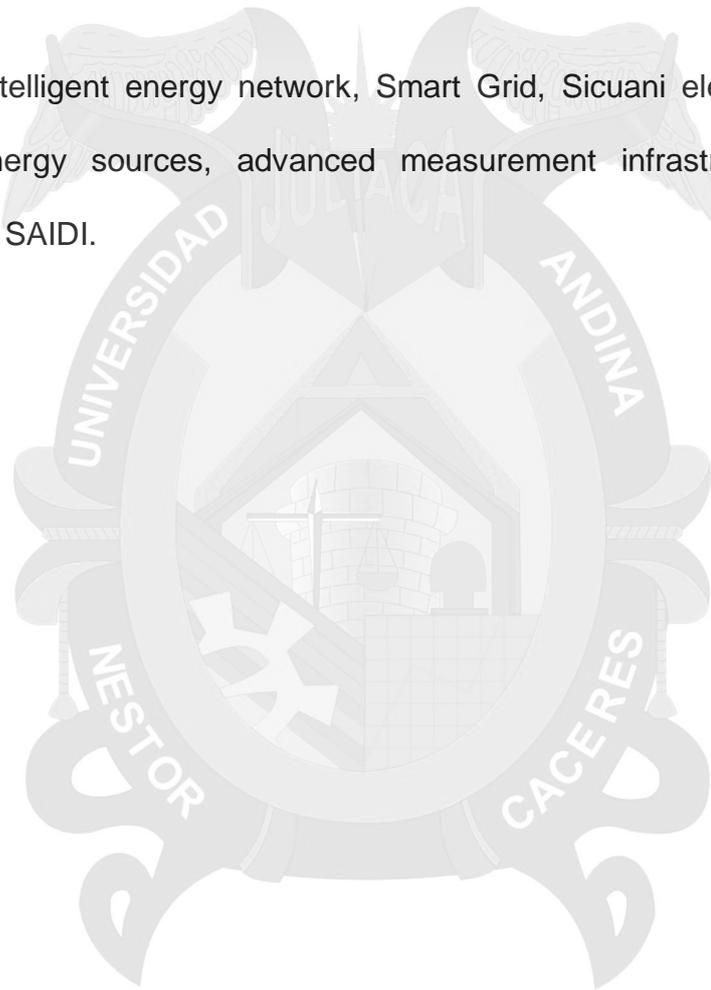
The energy systems in the Cusco region are undergoing significant changes, from centralized systems to distributed energy systems, because these emerging systems use renewable energies, new concepts and technological innovations, with big current questions that are related to the generation and the demand for electrical energy that increases rapidly, specifically in the current Sicuani electrical system with and without distributed generation, analyzing the behavior of the distribution networks for a projection of demand to 2016, which have brought about the saturation of the Distribution networks, increased losses, affecting the quality of the service.

Therefore, in this research thesis is firstly an analysis of the problems involved in the configuration of current electrical systems, then the alternatives of important solution and their requirements that direct the evolution of the energy distribution system electric to Smart Grid, with integration of renewable energy that provides greater security and intelligence to the system, with advanced measurement infrastructure, integrating information and communication technologies, offering greater use of alternative energy sources such as distributed generation, making known the advantages and disadvantages of the incorporation of Langui and Hercca distributed electricity generation in the Sicuani electrical distribution system.



One of the important proposals is the change of paradigm with the new model of intelligent networks applied to the feeder SI-01 of Sicuani, to solve problematic of Interruptions, automating the distribution networks of electric power supply and obtain a faster response in front of to the failures that appear and an adaptation of the use of intelligent protection systems with state-of-the-art equipment.

Keywords: intelligent energy network, Smart Grid, Sicuani electrical system, distributed energy sources, advanced measurement infrastructure, supply quality, SAIFI, SAIDI.





CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Las pequeñas centrales de generación eléctrica ubicadas en la región del Cusco, se implementarán para atender la demanda eléctrica cuando éste todavía era un sistema aislado, posteriormente dichas centrales quedaron conectadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), sin antes poder evaluar las ventajas de estas fuentes de generación dentro del sistema de distribución de la región Cusco, en las cuales las pequeñas centrales no llegan a cubrir la demanda eléctrica requerida por el crecimiento industrial, tecnológico y poblacional.

La Generación Distribuida (GD) está ubicada casi siempre en una barra de carga en un sistema de distribución Primaria, para reducir las pérdidas de energía, mejorar el factor de potencia, regular la tensión en la cola de la red eléctrica y mejorar el factor de potencia.

Actualmente las redes de distribución eléctrica tienen grandes distancias que es causa de caídas de tensión y pérdidas de energía, cabe mencionar que la red eléctrica de la Región Cusco se encuentra en una



zona de descargas atmosféricas la cual origina interrupciones en las líneas de transmisión y en época de frías con una intensa nevada que origina la rotura de los conductores de media y baja tensión.

Los alimentadores de media tensión tienen un periodo de vida aproximadamente de 25 años, algunos alimentadores ya han cumplido su ciclo de vida, dado que las nuevas electrificaciones y ampliaciones de redes se han dado indiscriminadamente a partir de ellos.

Mohassel R.R., Fung A., Mohammadi F. and Raahemifar K. (2014): Define "Smart Grid emplea las tecnologías de información para modernizar el concepto y funcionalidad de las redes eléctricas tradicionales de manera tal de obtener información de los componentes de red, desde la generación de energía hasta los usuarios finales, para utilizarla con el fin de maximizar la eficiencia y confiabilidad del sistema" [Vol. 63 , Pp. 473-484).

Como antecedente de una problemática similar al tema plantea el investigador: **Manuel Vte. Gascó González** en su tesis doctoral titulada "Integración de Energías Renovables en Redes Eléctricas Inteligentes", que los sistemas de generación distribuida suponen un concepto emergente en el sector eléctrico. Estos sistemas consisten en la integración de novedosos sistemas de generación, control y acumulación en una red eléctrica convencional carente de sistemas de control inteligente. Los pequeños dispositivos de almacenamiento están en fase experimental y carecen de unos criterios homogeneizados. El creciente



volumen de instalaciones de generación eléctrica distribuida requiere una mayor flexibilidad, toda vez que la integración de los sistemas de generación distribuida se incrementa, y las tecnologías de acumulación empiezan a ser cada vez más necesarias, y ya se muestran como una alternativa viable frente al concepto tradicional de generación centralizada. La liberalización de los mercados enfrenta al sistema a nuevas situaciones que requieren soluciones más eficientes para la producción y control de la energía, principalmente en los puntos cercanos al consumo de la energía, en la red de distribución [p-28]

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los efectos de incorporar la generación distribuida en la operación de un sistema eléctrico inteligente de media tensión en la región de Cusco?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo puede influir la integración de las energías renovables en cubrir la demanda eléctrica requerida por la red del sistema eléctrico Sicuani?
- ¿Cuáles serían las mejoras técnicas en las redes de Distribución de Media tensión del sistema eléctrico de Sicuani con la incorporación de la generación distribuida?
- ¿Cómo se puede modelar un perfil de redes inteligentes en los alimentadores del sistema eléctrico de Sicuani?



1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro del ámbito de la Región de Cusco se encuentran las pequeñas centrales eléctricas renovables generando una potencia de 1.02 y 3.25 MW respectivamente; la empresa Electro Sur Este S.A.A, se encarga de distribuir la energía eléctrica beneficiando a empresas y usuarios.

El ritmo acelerado de crecimiento de la demanda de energía eléctrica en la Región Cusco y la centralización en el proceso de generación eléctrica, ha traído consigo la saturación de las redes de distribución en tramos, con tensiones nominales normalizadas de 22.9 y 10.5 KV, incrementando las pérdidas, afectando la calidad del servicio, así como su continuidad, teniendo que verse en la necesidad de tener que hacer inversiones en la construcción de nuevas redes de distribución, ampliación de las capacidades de las subestaciones entre otros; para de esta manera poder subsanar estos problemas que vienen afectando la operación normal de las redes de distribución.

Por consiguiente, es necesario conocer las implicancias técnicas, ventajas, desventajas y beneficios económicos, que conlleva la incorporación de la generación distribuida en los sistemas de distribución de la región Cusco.

Electro Sur Este S.A.A, es la empresa que se beneficiara con el estudio, por obtener alternativas de solución al problema del crecimiento de la demanda de la energía eléctrica, incorporando la generación distribuida

y redes inteligentes, atendiendo de esta manera la reducción de pérdidas técnicas y los requerimientos de la Norma Técnica de calidad de servicios eléctricos en cuanto a nivel de tensión.

Los sistemas energéticos futuros van a enfrentarse a muchos desafíos, porque se están introduciendo nuevos conceptos emergentes en este aspecto.

La matriz energética tendrá alta incidencia de las energías renovables, y consumidores diversos, se observa en la actualidad que los pocos sistemas de distribución eléctrica con energías renovables en el país, generalmente operan aisladamente unos de otros o existe el supuesto de que son escasos los recursos de energía renovable. Por lo tanto, en la Región del Cusco que cuenta con un alto potencial de recursos energéticos, se requiere su buen uso, para que los usuarios consumidores cuenten con energía eléctrica de calidad a bajo costo y lograr el desarrollo sostenible del medio ambiente.

1.4. OBJETIVOS

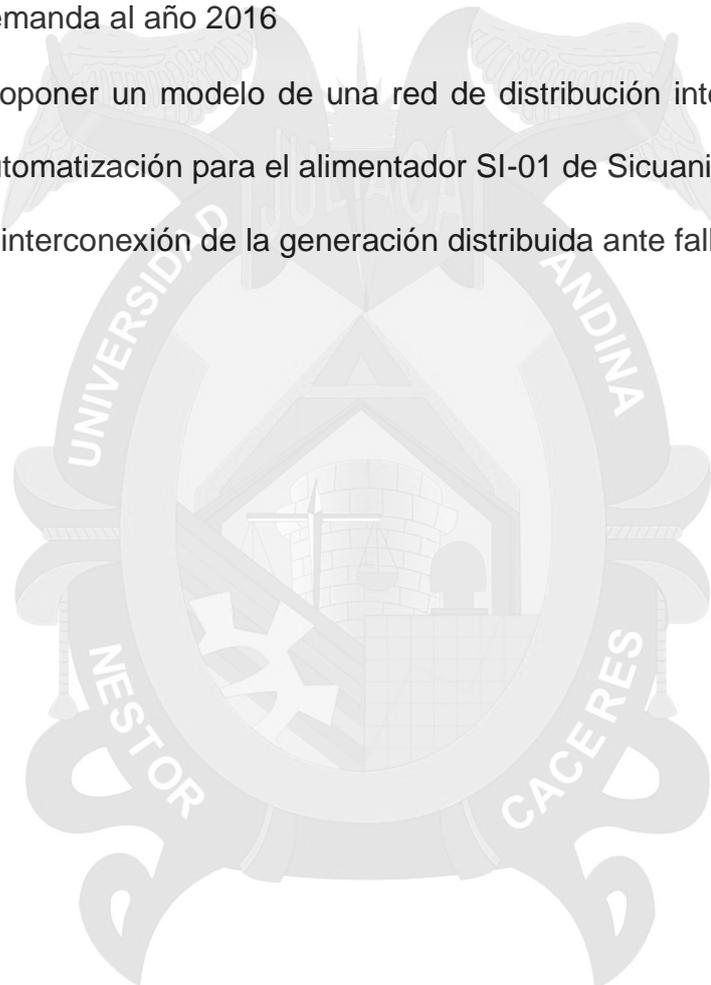
1.4.1. Objetivo general

Analizar el impacto de la integración de nuevas tecnologías de recursos energéticos renovables como generación distribuida en el sistema eléctrico de distribución de media tensión convencional en la región Cusco.



1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el impacto de la integración de las energías renovables como generación distribuida para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico de media tensión de Sicuani.
- Analizar la operatividad de los alimentadores del sistema eléctrico de Sicuani con y sin generación distribuida con una proyección de demanda al año 2016
- Proponer un modelo de una red de distribución inteligente para la automatización para el alimentador SI-01 de Sicuani, que opera con la interconexión de la generación distribuida ante fallas externas.





CAPÍTULO II

EL MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la elaboración de la presente tesis de investigación se toma como antecedentes algunos trabajos afines sobre la generación distribuida, energías renovables y redes inteligentes a nivel internacional, Latino América, Nacional y local con algunas restricciones.

2.1.1. ANTECEDENTE 1: TESIS DE GRADO

1.- Vicente (2013) afirma:

“El objeto de la presente investigación se centra en el estudio de las posibilidades de integración que las nuevas tecnologías de generación y acumulación que pueden tener en el sistema de distribución de energía eléctrica, tal y como se ha presentado se muestra la existencia de una red de transporte altamente controlada, debido al análisis continuo de los parámetros de vigilancia y mando que se ejercen sobre la misma, contrastando con el desarrollo de una red de distribución que requiere cada vez un mayor nivel de control por parte del sistema... La generación distribuida es cada día más importante, y está sustituyendo a la generación mediante el sistema de grandes centrales eléctricas centralizadas. El nuevo



paradigma de red distribuida requiere desarrollar las redes de distribución eléctrica inteligentes. El carácter no despachable de gran parte de la generación eléctrica distribuida, conformada en gran medida por energías renovables, requiere de nuevos sistemas complementarios en el sistema eléctrico, como los sistemas de acumulación y control, al objeto de permitir a los usuarios disponer de la energía en condiciones análogas a las de las redes con generación centralizada y despachable, y también de nuevos métodos de gestión de la energía, denominados sistemas inteligentes. La integración de los nuevos sistemas y métodos de gestión posibilita el desarrollo de la generación distribuida en redes inteligentes, incluyendo la posibilidad de comportarse como microrredes, capaces de trabajar de forma aislada". (pp. 16-17)

Comentario: El autor hace una descripción de la generación distribuida, que vincula las redes eléctricas inteligentes como nuevo paradigma.

2.- Herrera (2013) define:

“EL análisis efectuado enfoca en la descripción de Redes Inteligentes (Smart Grid) y su aplicación en los Sistemas de Distribución Eléctrica, sin embargo es necesario resaltar que el estado actual de estos sistemas en el país y la necesidad de mayor ingeniería en este nivel reflejada en las grandes pérdidas y la falta de información actualizada no permitirían aprovechar el basto potencial que proyectan las Smart Grids al alcanzar su máximo desarrollo; razón por lo cual es prioritario preparar al Sistema de Distribución para cuando se decida hacer tan importante cambio



permitiendo organizar y estandarizar la recolección y manejo de información a fin de mantenerla completa y actualizada, para un correcto análisis de la planificación, diseño y operación cuya importancia se ha visto mermada en los últimos años, ya que no se puede emprender tan importante avance tecnológico que podría agravar el problema si no se corrigen los errores sustanciales existentes". (p-189)

3.- Lorente (2011) define:

Dentro de sus objetivos específicos: "Primero se describirá qué es una Red Inteligente, detallando sus características, componentes, ventajas e inconvenientes". Después se estudiará el concepto de Generación Distribuida, describiendo y analizando tanto las distintas fuentes de generación como los sistemas de almacenamiento, existentes y en desarrollo; y el impacto que éstos tienen sobre el sistema de energía. En tercer lugar, se examinará la Gestión de la Demanda, haciendo especial hincapié en los mecanismos para conseguir un mayor allanamiento de la curva de demanda, buscando la mayor eficiencia posible del sistema, y se especificará el caso de la introducción del vehículo eléctrico en la red. Después de conocer y tratar estos conceptos, se hará un repaso por los diferentes proyectos relacionados con ellos a nivel español, europeo y finalmente, mundial. Por último, se repasará la normativa vigente que afecta a la integración de las Redes Inteligentes en nuestro país. (p.7)



Comentario: Hace referencia sobre el estado actual de las Smart Grid a nivel descriptivo de una revisión bibliográfica y sugiere desarrollar mas sostenible la operación de las redes eléctricas

4. Tesis Doctoral: GENERACIÓN DISTRIBUIDA, ASPECTOS TÉCNICOS Y SU TRATAMIENTO REGULATORIO, Autor: Ing. D. Víctor Hugo Méndez Quezada, Madrid (2005), UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS DE MADRID

Mendez (2005) afirma:

“Es identificar y analizar los problemas regulatorios asociados a la integración de la GD, así como proponer cambios en la regulación que permitan una mejor integración de ésta. Dichos cambios deben ser compatibles con lo actual proceso de reestructuración en el cual está inmerso el sector eléctrico” (pp. 3-4).

Mendez (2005) releva como conclusión:

“Esta tesis ha contribuido identificando y formulando los parámetros fundamentales en el impacto de la GD: la tecnología de GD, la penetración de la GD, la dispersión y localización de la GD. Asimismo, se desarrolló una metodología de estudio que permitió evaluar el comportamiento de las pérdidas debido a la conexión de GD, teniendo en cuenta los parámetros mencionadas anteriormente. El estudio se basó en el cálculo horario de las pérdidas a lo largo de todo un año, calculando en cada hora el flujo de cargas en el alimentador. Utilizando dicha metodología se compararon las pérdidas anuales calculadas hora a hora en escenarios con y sin GD” (p. 181).



Comentario: Hace una descripción de la Generación Distribuida identificando los problemas regulatorios asociados a la mejora de las técnicas de operación de las energías renovables.

2.1.2. ANTECEDENTE 2: PRINCIPALES PAISES INICIADORES DE REDES INTELIGENTES Y GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL MUNDO

A. UNIÓN EUROPEA

Muro (2012) afirma:

El origen de este nuevo concepto parte de los intentos por usar controles de consumo a través de medidores y monitorización. Es así que a partir de 1980 se instalaron en forma masiva medidores de electricidad para monitorear las cargas de millones de clientes.

En 1990, se instalaron los primeros medidores capaces de determinar la curva de demanda de los clientes. En el 2000, Italia desarrolló el primer proyecto de Smart Metering instalando medidores en 27 millones de hogares conectados a través de una línea de comunicación. En abril de 2006, el Consejo Asesor de la Plataforma Tecnológica de redes tecnológicas del futuro de Europa presentó su visión de Smart Grid. En el 2007, se publicó la Agenda Estratégica de Investigación.

En esta, se describen las áreas a ser investigadas, técnicas y no técnicas, que conducirán a una investigación concreta dentro de la Unión Europea y sus Estados Miembros. Se puede observar que, actualmente no existe un consenso en las definiciones, no obstante, a nivel mundial existen diversos

proyectos implementados de redes inteligentes en los cuales se integran las tecnologías de la información y la infraestructura eléctrica creando la denominada "Internet de la energía". (p 122).

B. ESPAÑA:

PROYECTO INNOVA CHILE-CORFO: PROYECTO SMARTCITY SANTIAGO (ENERO 2014)

Estructura del sector eléctrico:

El sector eléctrico español ha sufrido una profunda transformación desde el año 1998. Hasta entonces, la actividad del sector estaba concentrada en empresas caracterizadas por una importante estructura vertical, y que ejercían monopolio en las distintas regiones españolas.

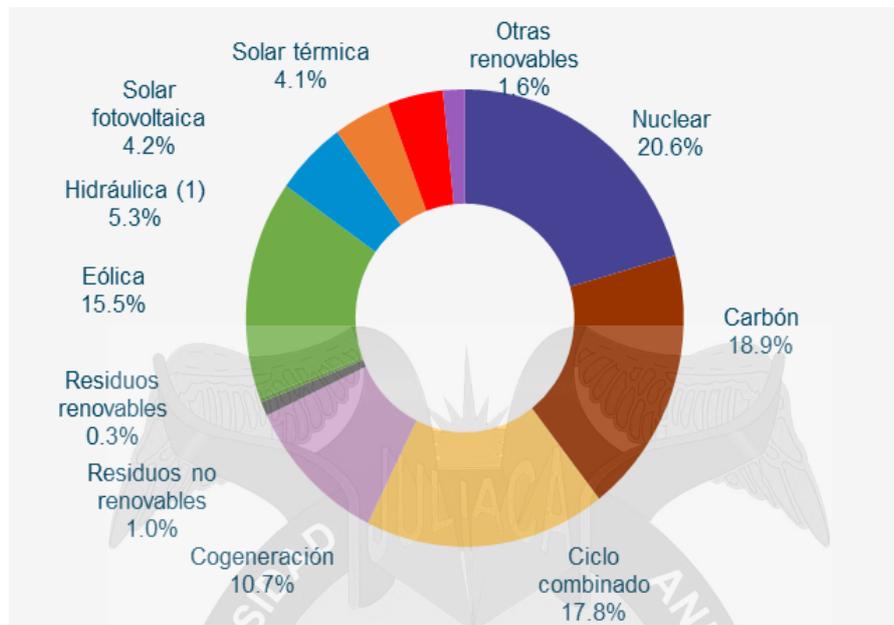
Drivers del desarrollo de las Smart Grids en España

La revisión de la situación energética en España, la realidad de su mercado y sus metas en eficiencia energética, disminución de emisiones y uso de energías renovables, requiere que todos los stakeholders estén adecuadamente involucrados para asegurar que el efectivo despliegue de las Smart Grids sea exitoso y permita al país desarrollar y mejorar el sistema de energía y los sectores de la industria nacional y tecnología.

Para lo anterior, es vital implementar medidas que ayuden a todos los actores involucrados en la cadena de valor respecto de tres dimensiones: alinear políticas industriales y energéticas; alentar el desarrollo de incentivos y fortalecer el apoyo institucional. (PP: 38-39)

Se puede mostrar la matriz energética de España en la Figura 2.1

Fig.2.1: Generación distribuida español



Fuente: Red Eléctrica de España, boletín mensual julio 2017

C. HOLANDA AMSTERDAM:

Muro (2012) afirma:

“Smart City Accenture El programa utiliza una Smart Grid con contadores inteligentes, tecnologías de edificios inteligentes y vehículos eléctricos para reducir el consumo de energía en los hogares, los edificios y áreas públicas y en el transporte” (pp. 126).

D. DINAMARCA

PROYECTO INNOVA CHILE-CORFO: PROYECTO SMARTCITY

SANTIAGO (ENERO 2014), indica:

Redes inteligentes/ medidores inteligentes



“La Energinet.dk y la Asociación danesa de Energía han analizado cómo llegar a cumplir estos objetivos en los próximos 15 a 25 años, particularmente cómo la solución de redes inteligentes puede preparar el sistema energético para administrar estos desafíos”.

La conclusión del estudio es que la Red inteligente es la forma más efectiva para desarrollar el sistema de energía y prepararlo para los desafíos que se vienen. (pp. 40-41)

E. BRASIL

PROYECTO INNOVA CHILE–CORFO: PROYECTO SMARTCITY SANTIAGO (ENERO 2014), indica:

“Está llevando la carga del liderazgo para el despliegue de Smart Grids donde hay factores clave que apoyan estos esfuerzos”, tales como:

- La necesidad por mejorar la seguridad y disminuir las significativas pérdidas en algunas áreas,
- El crecimiento económico que favorece el acceso al capital y la expansión del sistema,
- Un considerable interés en aprender de otros países que han lanzado sus propias iniciativas y
- Algunas localidades con apoyos del gobierno para programas de I+D para promover demostraciones y pilotos. (pp-54)

F. CHILE

PROYECTO INNOVA CHILE–CORFO: PROYECTO SMARTCITY SANTIAGO (ENERO 2014), indica:



“Chilectra ha implementado un Proyecto Piloto en la comuna de Huechuraba, específicamente en la zona de Ciudad Empresarial, y en tres sectores residenciales cercanos a dicho polo de oficinas”.

“El piloto considera la instalación alrededor de 100 smart meters en casas de clientes, la habilitación de un show-room de despliegue de tecnologías, la instalación de sistemas de automatización de red de distribución en redes de media tensión, sistemas de iluminación inteligente y eficiente, un proyecto de transporte eléctrico de emisión cero, y todo complementado con acceso a facilidades de IT”. **(pp: 74)**

G. ALEMANIA

PROYECTO INNOVA CHILE–CORFO: PROYECTO SMARTCITY

SANTIAGO (ENERO 2014), enfatiza:

Es uno de los países más avanzados en términos de penetración de sistemas de autogeneración. Actualmente está vigente en ese país el Plan de Energía 2010, que toma como punto de partida los siguientes hechos:

Situación Actual / Hechos en Alemania

- Un fuerte crecimiento de las energías renovables: 2009: 16,3 % , 2010: 16,8 %; 2011: 20 %; Q1 2012: 22 %
- Importante crecimiento de la energía eólica: 2010: 5.9 %; 2011: 8 %; Q1 2012: 10,5 %
- Reducción de la participación de la energía nuclear: 2010: 22.6 %; 2011: 18 %; Q1 2012: 18 %
- Lo anterior ha conducido a que el año 2011 el aporte energético de las energías renovables fuera mayor que la participación de la energía nuclear (“nuclear phaseout”) **(pp-34)**



H. ESTADOS UNIDOS

Hashmi (2011); Jeju SGTB (2012a); KSGI (2012b), hace referencia sobre:

Proyectos piloto

GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REINO UNIDO Y ESTADOS UNIDOS: NIVEL DE PENETRACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA Y REGULACIÓN

En el estudio se analiza el desarrollo de la tecnología fotovoltaica y el nivel de penetración global de la fotovoltaica en Reino Unido y los EE.UU para lo cual se ha hecho un análisis no exhaustivo de la regulación que la promueve.

A pesar del fuerte desarrollo que las renovables han experimentado en Reino Unido y EE.UU., se observa que su aportación a la generación neta es del 16% y 12%, respectivamente, muy inferior al 40% que se registró en España en 2014.

La fotovoltaica es, junto con la eólica, una de las tecnologías renovables que más está creciendo a nivel global. Los cinco países con más potencia fotovoltaica instalada a finales de 2013 fueron Alemania (~36 GW), China (~20GW), Italia (~18 GW), Japón (13,6 GW) y Estados Unidos2 (12,1 GW).

En lo que al nivel de penetración fotovoltaico global en 2013 se refiere, Alemania, con 5,7%, presenta un nivel superior que el de España (3,62%) que es, a su vez, muy superior al 0,64% registrado en Reino Unido y el 0,5% de EE.UU.



A pesar del bajo nivel de penetración de EE.UU., hay que tener en cuenta que ese mismo año California registraba un 3% de nivel de penetración y Nueva York un 2%, lo que pone de manifiesto el rápido crecimiento que esta tecnología está experimentado en determinados estados (pp. 9-10)

I. CANADÁ

PROYECTO INNOVA CHILE-CORFO: PROYECTO SMARTCITY

SANTIAGO (ENERO 2014), enfatiza:

Sector Eléctrico La generación, transmisión y distribución caen primeramente bajo la jurisdicción territorial y provincial, de modo que las políticas que la afectan se hacen a ese nivel. Las exportaciones de electricidad y las líneas de poder interprovincial e internacional caen bajo jurisdicción federal. En Canadá los mercados eléctricos caen a lo largo de líneas regionales

Infraestructura de Smart Meter / Smart Grid

Hay pilotos de smart grids en las provincias de Ontario y Quebec. En otras provincias las empresas de energía están evaluando proyectos de modernización de la red, incorporando y testeando tecnologías smart grid. y provinciales y son apropiados, operados y regulados por una amplia variedad de agencias provinciales o compañías estatutarias. (pp: 49-50)

J. CHINA

Muro (2012) afirma:

“China Yangzhou, ChinaGE: Incluye una avanzada infraestructura de lectura con contadores inteligentes con precio dinámico que es el centro de

los ahorros de energía en el hogar. Se incluyen sistemas de gestión de la energía en el hogar. Brasil Ciudad del futuro CEMIG Implementado en Sete Lagoas, sirvió para la implementación de tarifas en tiempo real. Redujo los costos de la energía, las pérdidas, y mejoró la calidad de suministro” (pp. 126-128)

K. COREA

PROYECTO INNOVA CHILE-CORFO: PROYECTO SMARTCITY

SANTIAGO (ENERO 2014), enfatiza:

Sector Eléctrico

Infraestructura Smart Grid y Smart Meter

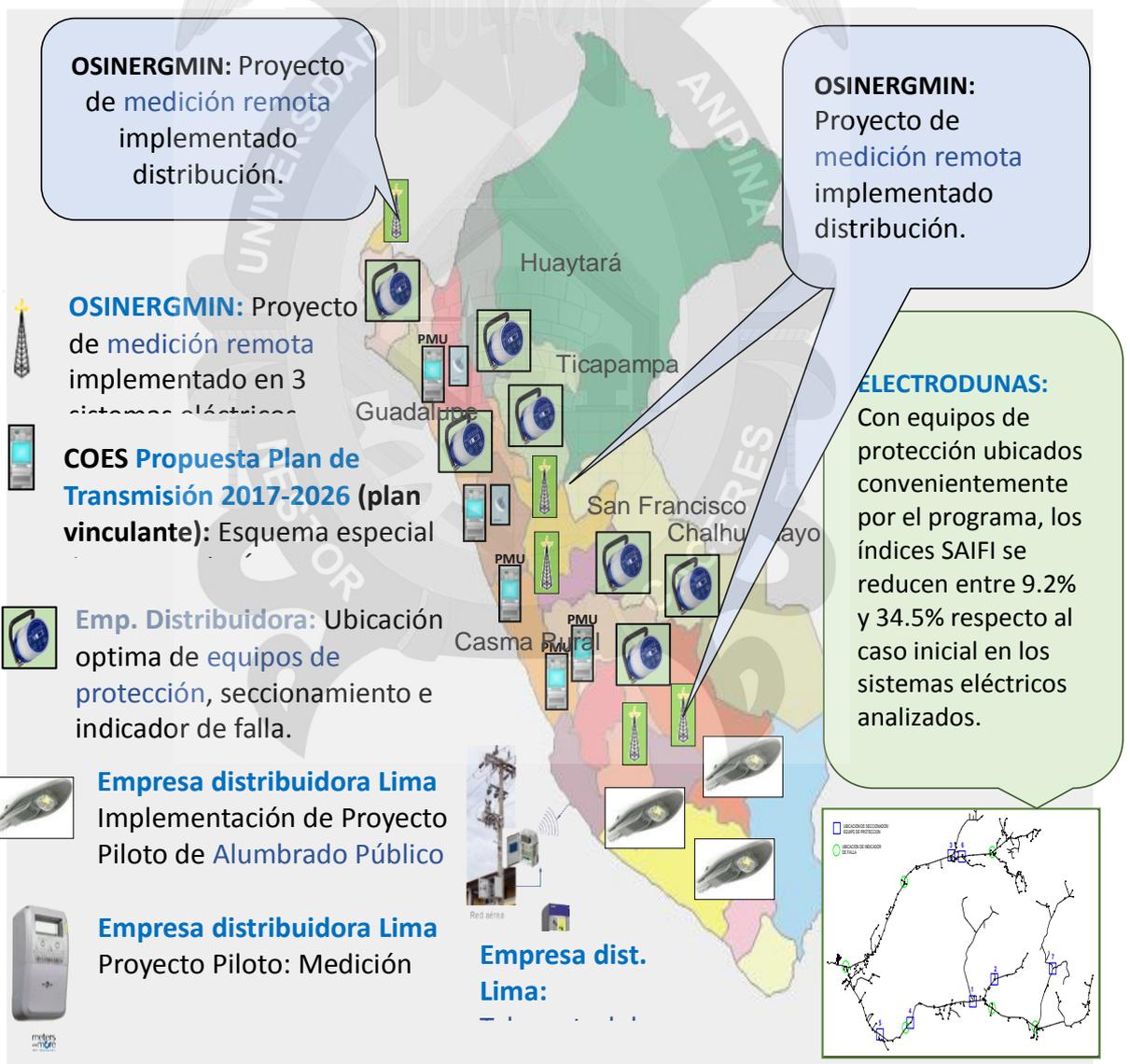
Debido a que la tecnología verde innovadora (y exportable) es un pilar de la estrategia económica coreana, el gobierno de Corea del Sur es muy activo en iniciativas smart grid y smart meter, tanto a nivel doméstico como internacional. El gobierno planea instalar Smart meters en la mitad de las residencias coreanas para 2016 y reemplazar los medidores análogos que queden para el 2020. En 2011, la legislatura surcoreana aprobó la Ley de Promoción de Smart Grid (2010) entregando un marco para proyectos sostenibles de Smart grid y un plan para el desarrollo, despliegue y comercialización de las Smart grids. (pp: 51-52)

Perú: La única implementación es la **Medición Inteligente Hidrandina:** En su primera etapa se han instalado 500 medidores con telemedición en clientes industriales y comerciales para la administración de la demanda, la optimización de la gestión operativa y el control de pérdidas no técnicas”

2.1.3. ANTECEDENTE 3: NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

En la actualidad existen Proyectos de Smart Grid en desarrollo y con una proyección futurista en nuestro País, los cuales necesitan mayor agresividad para estar a nivel con otros Países que ya han aplicado la tecnología (Smart Grid) de redes inteligentes y generación distribuida a redes de distribución de energía eléctrica. Se presenta un esquema del Perú.

Figura 2.2. Proyectos a futuro de Smart Grid en el Perú



Fuente: Osinermin



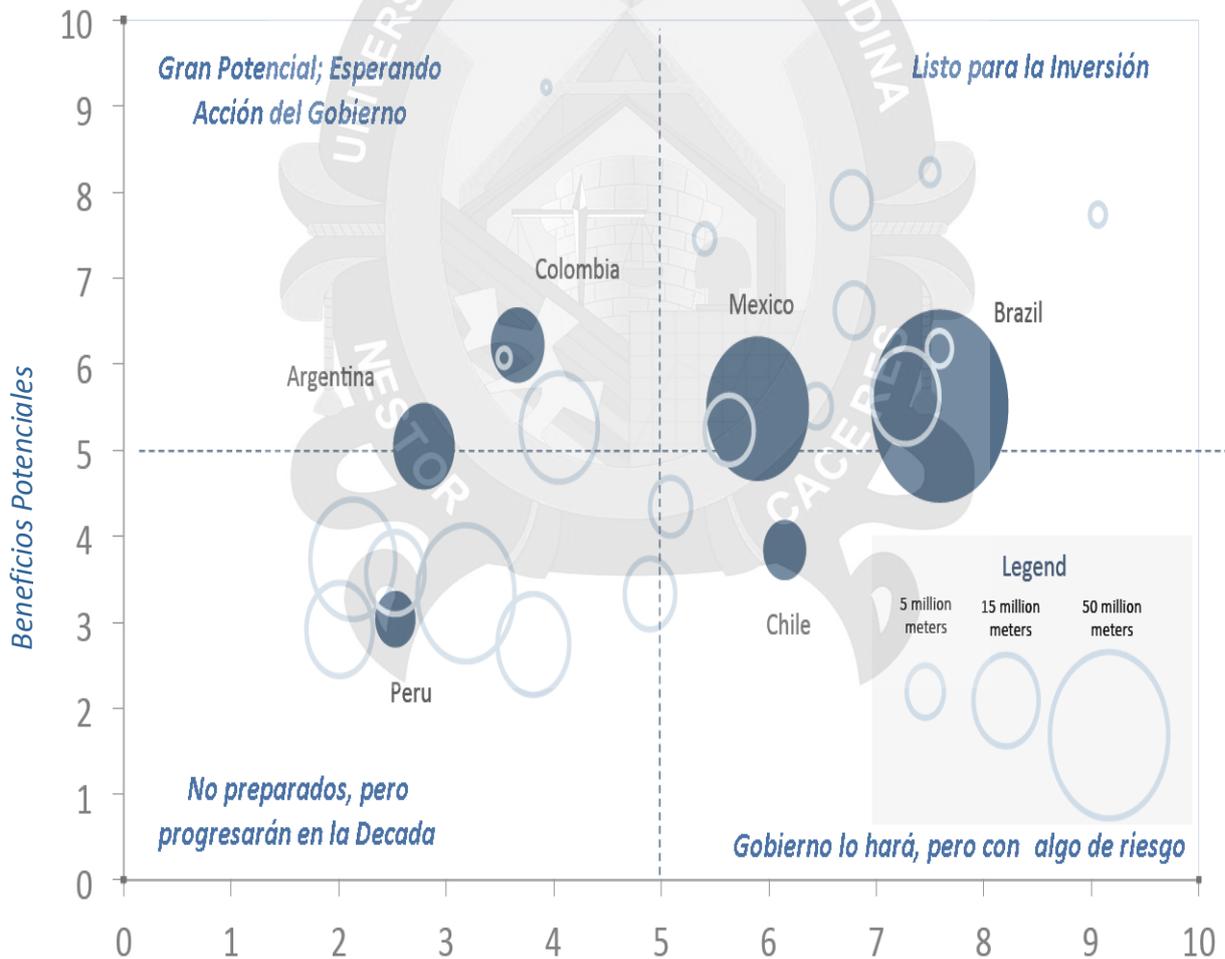
A nivel regional existen pequeñas centrales generadoras que se interconectan como generación distribuida idealmente pero operativamente no forman la bidireccionalidad de flujo de carga de la distribuidora y el autoproducer, podemos citar algunos de ellos:

- a. Planta piloto de sistemas fotovoltaicos instalados en la Empresa Electro Sur Este S.A.A con una capacidad de 160 kw, trabaja en forma aislada
- b. Dentro del ámbito de la Provincia de Cuzco se encuentran las pequeñas centrales Hidroeléctricas de Hercca y Langui generando una potencia de 1.02 y 3.25 MW respectivamente; la empresa Electro Sur Este S.A.A, se encarga de distribuir la energía eléctrica beneficiando a empresas y usuarios.
- c. La Mini Central Hidráulica de Pisac con una potencia de 160 KW, y de Quillabamba de 1.2 MW, y otros bajo la administración de la empresa Electro Sur Este S.A.A, quien se encarga de distribuir la energía eléctrica beneficiando a empresas y usuarios.
- d. **Proyecto Smart Metering Perú**
- e. En el Perú no se instaló un sistema Smart Grid hasta 2017, sin embargo existe un proyecto Piloto de 10KW Smart meters desarrollado por grupo ENEL, que está en proceso de implementación.

2.1.4. ANTECEDENTE 4: Los Principales países de Latinoamérica se encuentran ubicados en cuatro cuadrantes, de acuerdo a su diversidad potencial en los Smart Grids

Comentario: Leonidas sayas: “comenta sobre la información de los diferentes países que han implementado el modelo Smart Grid, se verifica que estos son “sistemas a la medida”; a control remoto por tanto, se puede enunciar que los inductores que sustentan su aplicación son específicos para cada región; país; mercado o empresa”.

Figura: 2.3. Ubicación de los Países Latinoamericanos en los cuatro cuadrantes



Fuente: OSINERMIN

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Se define la Generación Distribuida (GD), como panorama actual, las posibles tendencias de la implementación de la (GD) en las redes de distribución eléctrica, con una automatización con redes inteligentes y describir las diferentes tecnologías que se encuentran disponibles en el mercado y las emergentes para poder implementar este tipo de generación, de la misma forma poder ver las ventajas y desventajas que implica la GD.

González (2004) define

“La generación distribuida no es un concepto nuevo, la energía eléctrica históricamente fue introducido como una alternativa a la energía provista por: vapor, hidráulica, eólica y calentamientos directos, inmersos en este escenario en los últimos años, se ha producido un importante incremento en el número de instalaciones de Generación Distribuida (GD) que se han conectado a las redes de reparto, media y baja tensión” (p. 4).

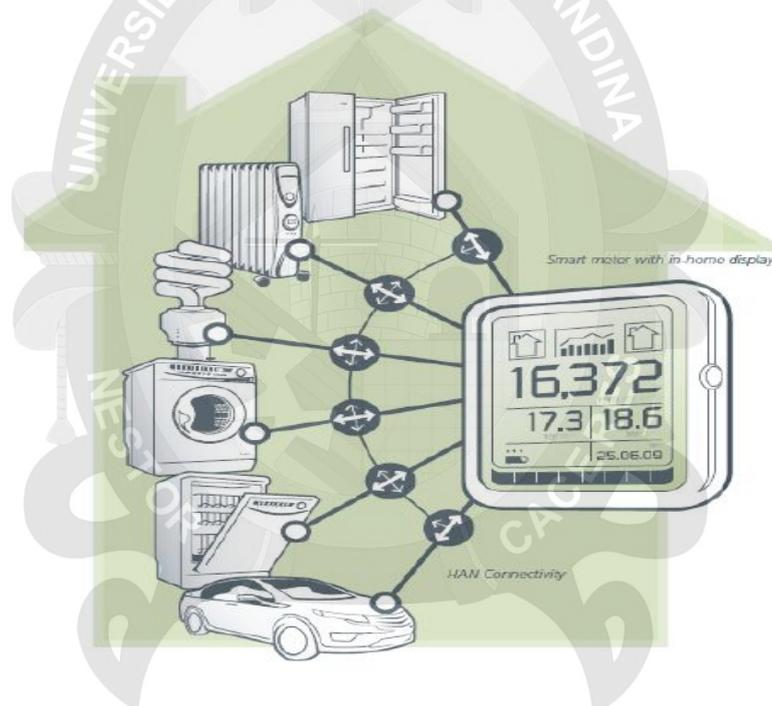
González (2004) define:

“Estas conexiones crean una serie de costes o de beneficios en dichas redes, como son de aumentar o reducir las pérdidas, la necesidad de reforzar la capacidad de las líneas y centros de transformación para dar cabida a los nuevos flujos de potencia inyectados por la GD o, por el contrario, reducir el volumen de inversiones en refuerzos en las redes eléctricas” (p. 4).

González (2004) define:

“Los esquemas comerciales de venta de energía en el mundo comenzaron a optar por sistemas de electricidad apenas a mediados del siglo 19 y aun así hicieron falta unos años más para tener opciones reales de sistemas de generación y comercialización similares a los que luego consolidaron a la energía eléctrica como una de las principales fuentes de energía, con su concepto de transporte a sitios distantes de las fuentes de generación” (p. 4).

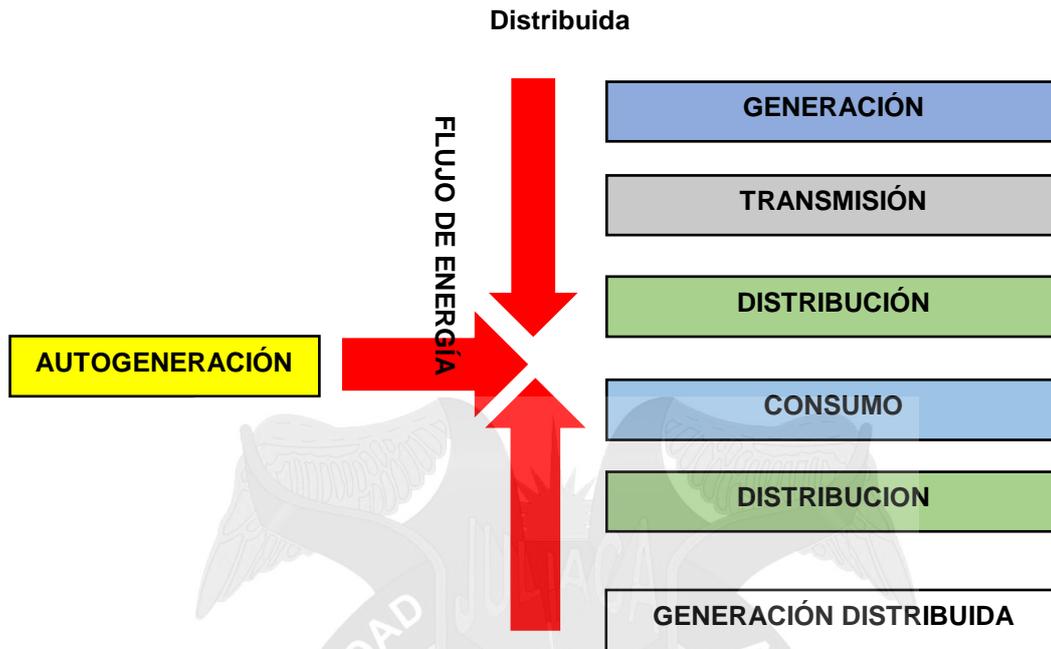
Fig. 2.4. Aplicación de redes inteligentes de energía Smart City:



Fuente: Tesis - investigación, desarrollo Santiago-Chile

La Figura 2.5 es configuración típica de un Sistema Eléctrico de Potencia presenta cuatro niveles esenciales: Generación, Trasmisión, Distribución y consumo, las redes de futuro ya considera la integración de la Generación Distribuida.

Figura 2.5 El flujo de energía eléctrica con la incorporación de la generación



Fuente: Eficiencia Energética y Renovables –Nueva concepción de la Industria Eléctrica

2.2.2. RANGO DE POTENCIA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La capacidad nominal de la GD, es variable de acuerdo a los requerimientos técnicos necesarios para interconectar a una determinada barra de carga, pues es bastante subjetivo el criterio para calificar a sus instalaciones como “relativamente más pequeñas a las centrales de generación”.

No obstante lo anterior y con el afán de establecer una capacidad de acuerdo con las características de generación eléctrica, se puede decir que, en lo que respecta a tecnologías disponibles, la capacidad de los sistemas de GD varia de cientos de KW hasta veinte mil KW. Se observa en la tabla 2.1

Tabla 2.1: Clasificación de generación distribuida por el tamaño de las unidades

CLASE	TAMAÑO RELATIVO
Micro	$\sim 1 \text{ Watt} < 5 \text{KW}$
Pequeña	$5 \text{KW} < 5 \text{MW}$
Mediana	$5 \text{MW} < 50 \text{MW}$
Gran	$50 \text{MW} < \sim 300 \text{MW}$

Fuente: Distributed Generation-Ackermann Thomas

Elaboración: Propia

2.2.3. GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD) Y SUS CARACTERÍSTICAS

A. DEFINICIONES.

Segura (2005) Define:

"Generación Distribuida es la producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico. Es un subconjunto de recursos distribuidos" (p. 1).

Vinicio (2008), Define:

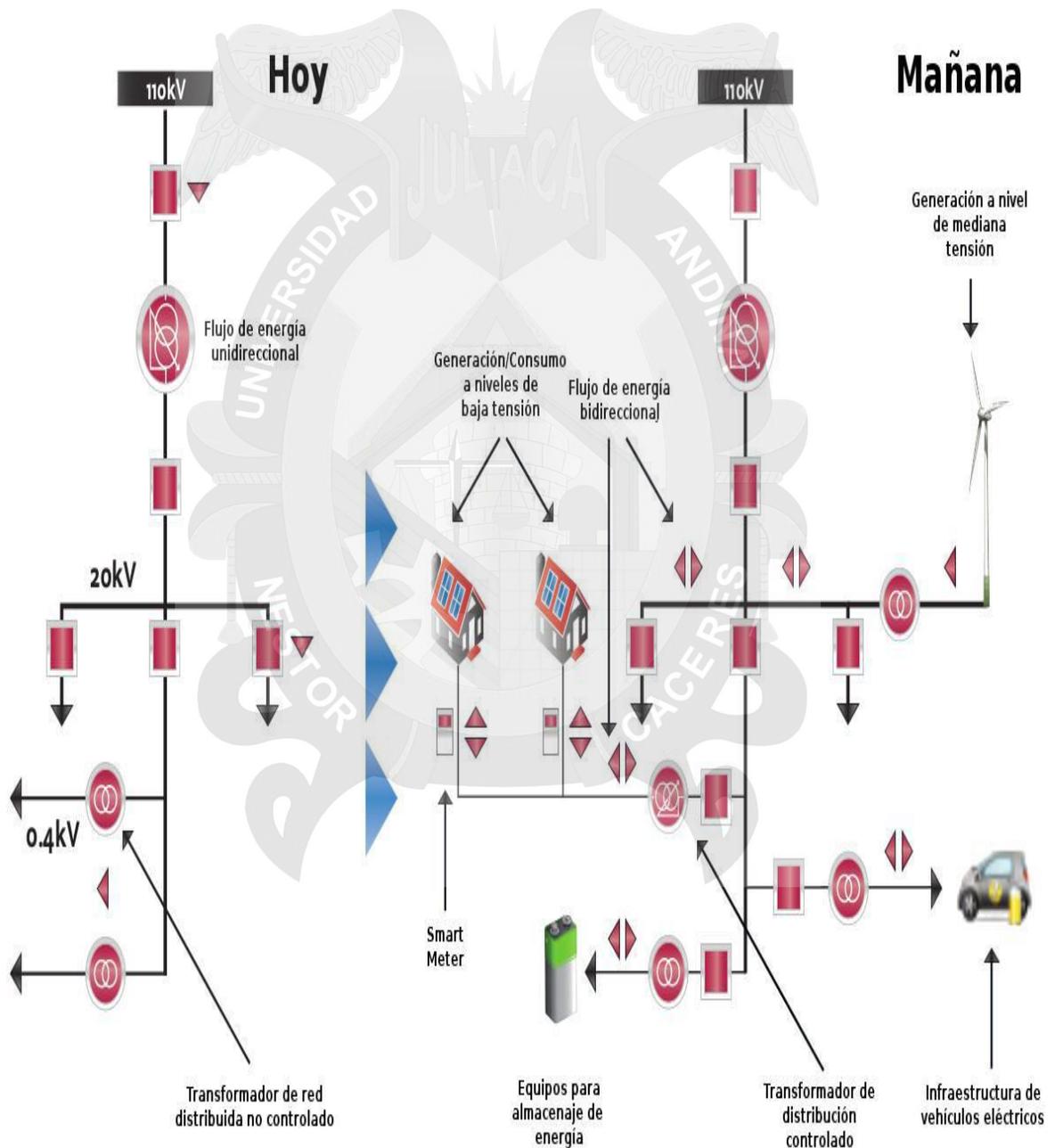
"Unidades generadoras de pequeño tamaño ubicadas cerca de los puntos de consumo". (pp. 44-45).

Willis & Scott (2000) definen:

Estos autores definen: "La GD como pequeños generadores (típicamente entre 15 KW. y 10 MW) esparcidos en los sistemas eléctricos, asimismo, utilizan el concepto de Generación Dispersa para referirse a generadores

muy pequeños, del tamaño necesario para alimentar consumos residenciales o pequeños negocios típicamente entre 10 y 250 KW. y conectados en las instalaciones de los consumidores o aislados de las redes”

Figura 2.6: Generación distribuida



Fuente: PROYECTO INNOVA CHILE-CORFO



B. CARACTERÍSTICAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Lorente de la Rubia, (junio 2011), define y caracteriza:

“La generación distribuida también conocida como generación in-situ, generación embebida, generación descentralizada, generación dispersa o energía distribuida”.

Tiene las siguientes características:

- Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.
- Es la generación conectada directamente en las redes de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1,000 kW.
- Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.
- Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando a la cogeneración, con la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados. **(pp- 22)**



C. VENTAJAS DE LA GD

Lorente de la Rubia, (junio 2011),

Las principales ventajas con las que cuenta la Generación Distribuida son:

Incremento en la confiabilidad: A día de hoy, los pequeños usuarios dependen de la red para satisfacer sus necesidades energéticas en forma de electricidad, si la red cae o se estropea un Centro de Transformación, la electricidad no llega a los usuarios; si existiera GD los usuarios se podrían auto abastecer ante contratiempos como los descritos.

Aumento en la calidad de la energía: La GD acerca el punto de generación al punto de consumo.

Reducción del número de interrupciones: Con este tipo de generación, el usuario ya no depende al 100% de la red.

Uso más eficiente de la energía: Acercar el punto de generación al punto de consumo, no solo significa que no hace falta una línea de transporte muy larga, y por tanto mejora la eficiencia, sino también que los calores residuales de generación térmica se pueden aprovechar para usos térmicos

Uso de las energías renovables: El problema principal que tienen las energías renovables es que la curva de demanda energética no coincide con la curva de oferta de energía, por tanto, para aumentar el uso de las energías renovables.

Flexibilidad de generación: En el caso de la pequeña GD, no hacen falta grandes inversiones ni económicas ni de tiempo de construcción, solamente sería necesario ir a una tienda y comprar una placa fotovoltaica o un pequeño equipo electrógeno.



Oportunidad de negocio: Sin GD a nivel de usuario, éste depende exclusivamente de la red para satisfacer sus necesidades energéticas en forma de electricidad, y tiene que comprar al precio que marcan las grandes empresas; en cambio con GD, el usuario se puede generar su propia electricidad, lo cual puede llegar a ser más barato, y así reducir el coste de su electricidad.

Beneficios medioambientales: Reducción de emisiones por algunas tecnologías de generación distribuida (energías renovables) (pp: 23-24)

D. Inconvenientes de la GD

Vinicio (2008) describe:

“Las principales barreras que actualmente impiden la implementación y el crecimiento de los sistemas de generación distribuida son: barreras tecnológicas, Redes de distribución son típicamente radiales, barreras de regulación y de mercado eléctrico y Estructura tarifaria” (p. 57)

E. Impacto de la Generación Distribuida en la operación de la red de distribución

La operación y explotación segura de una red, es teniendo en cuenta para una mejor solución de compromiso los siguientes aspectos técnicos:

- Las sobrecargas.
- Los niveles de tensión.
- Minimización de pérdidas.
- Continuidad en el suministro.
- Tiempos de reposición.
- Protecciones.



2.2.4. ENERGÍAS RENOVABLES COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA

El costo de la generación eléctrica en Kwh, a través de generación de energías convencionales basadas en combustibles fósiles cada vez aumenta, a más de ello es impostergable la necesidad de reducir los niveles de contaminación ambiental que producen; por tal motivo las energías renovables cobran importancia y se masifica su utilización dentro del sistema energético mundial, facilitando así la autogeneración del consumidor o generación distribuida.

Energías Renovables

HERRERA MARCO (2013), en su tesis define:

“Las energías renovables se obtienen de fuentes naturales e idealmente inagotables que existen en grandes cantidades o tienen capacidad natural de regeneración, su principal ventaja es contribuir al equilibrio territorial pudiendo instalarse en zonas rurales y aisladas con la consecuente disminución de la dependencia de fuentes externas. Las energías renovables pueden ser no contaminantes que incluyen solar, hidráulica, eólica, geotérmica y mareomotriz; y contaminantes como la biomasa y biocombustibles; comúnmente al hablar de energías renovables se considera únicamente a las no contaminantes cuyo impacto ambiental es 31 veces menor que el de las energías convencionales”. (pp- 10)

Podemos citar las energías renovables más importantes:

- a. Energía Solar
- b. Micro centrales Hidroeléctricas
- c. Energía Eólica



- d. Energía Geotérmica
- e. Energía Mareomotriz
- f. Energía del Hidrógeno

2.2.5. MICRO REDES Y LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Manzar Ahmed, Uzma Amin, Suhail Aftab, Zaki Ahmed(publicado el 29 de enero 2015), En este artículo hacen referencia sobre microredes inteligentes:

1. Micro Red DC

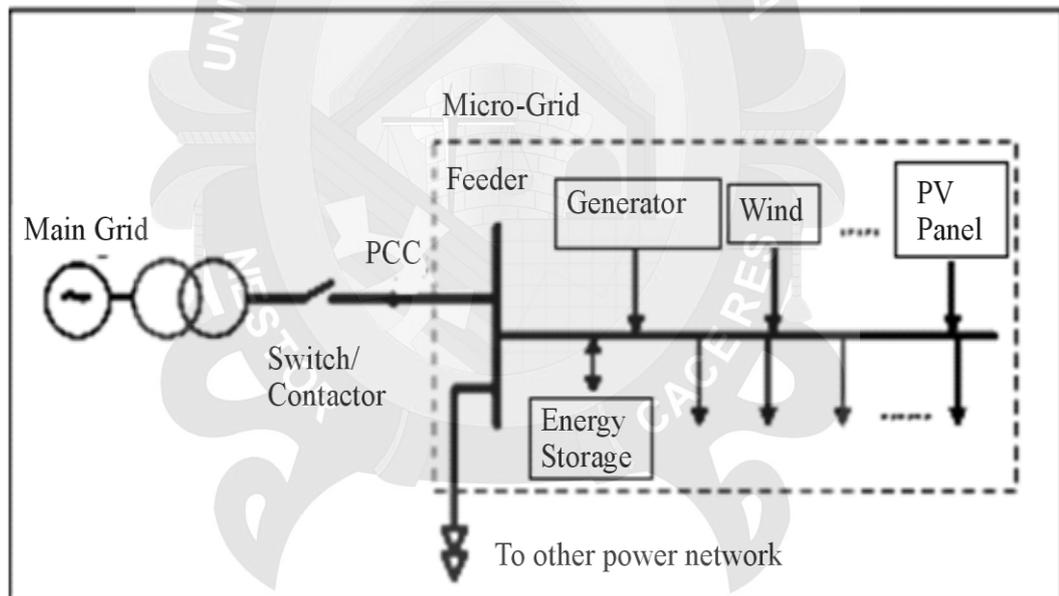
- Los principales componentes de Micro red son mini-hidros, célula solar, la energía eólica, pilas de combustible y sistema de almacenamiento de energía.
- Estos están integrados para la generación de electricidad, almacenamiento de energía, y una carga que opera normalmente conectado a una red principal (red macro). puede funcionar en dos modos: uno es conectada a la red y el otro es modo independiente. El principal beneficio de Microgrid es que puede operar en modo autónomo o modo principal desconexión de la red.
- La microred puede funcionar de manera autónoma. Generación y cargas en una micro red suelen ser interconectado
- En Microgrid los recursos de generación pueden incluir como las células de combustible, eólica, solar, y otras fuentes de energía como en la Figura 2.7 y 2.8

Figura 2.7: Microrredes



Fuente: ENDESA : Farolas inteligentes con micro aerogeneradores y solares

Figura 2.8. Los componentes del sistema de micro red



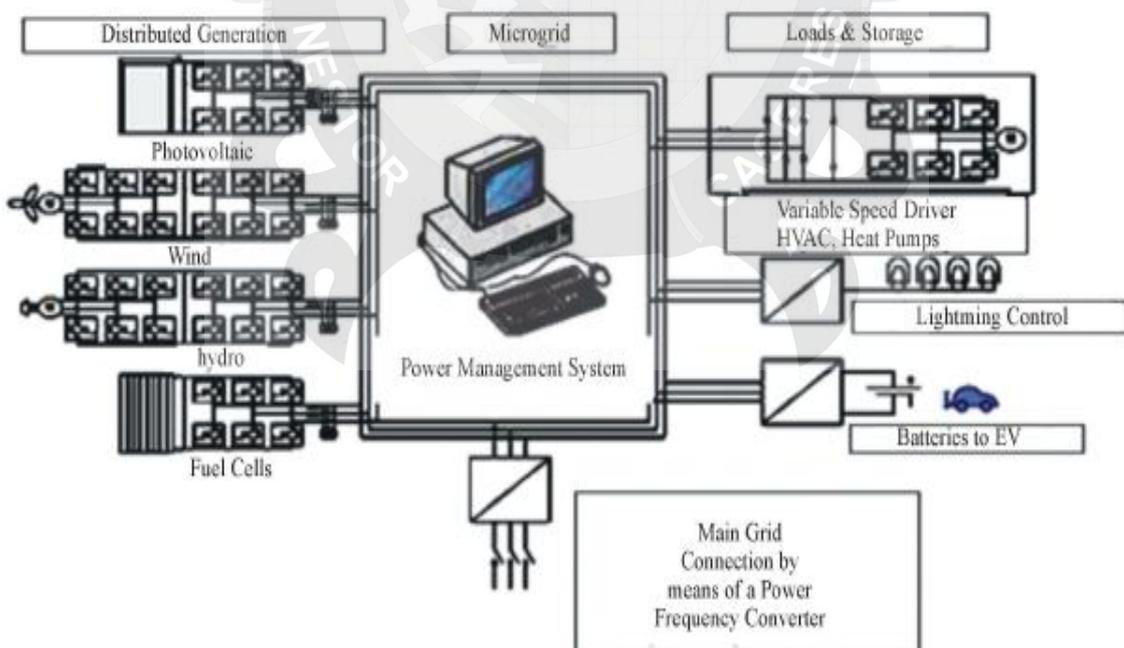
Fuente: Energy and Power Engineering, 2015, 7, 12-29

2. SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA

- El concepto de la DC Micro Red sigue de cerca el concepto original de generación de energía DC locales de Thomas Edison.

- Este concepto podría ser implementado en la generación de energía del siglo 21 y el sistema de utilización. A pesar de que la distancia entre las fuentes de generación de electricidad y cargas debe ser como mínimo, rentable solar a particular parques eólicos en un sitio en particular también cumplen con los requisitos de la Micro Red de CC. Conversión mínima desde DC a AC y DC o AC a debe tener lugar. Este aumento se debe en parte a la compatibilidad de la electricidad local de CC Infraestructuras que coexisten con infraestructuras eléctricas existentes basadas en corriente alterna (CA).
- En cuanto a almacenamiento de energía, dispositivos de almacenamiento de CC, tales como baterías, condensadores y pilas de combustible también cumplen con los requirements de electricidad local de CC

Figura 2.9. circuito completo de la integración de la energía verde



Fuente: Energy and Power Engineering, 2015, 7, 12-29



3. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

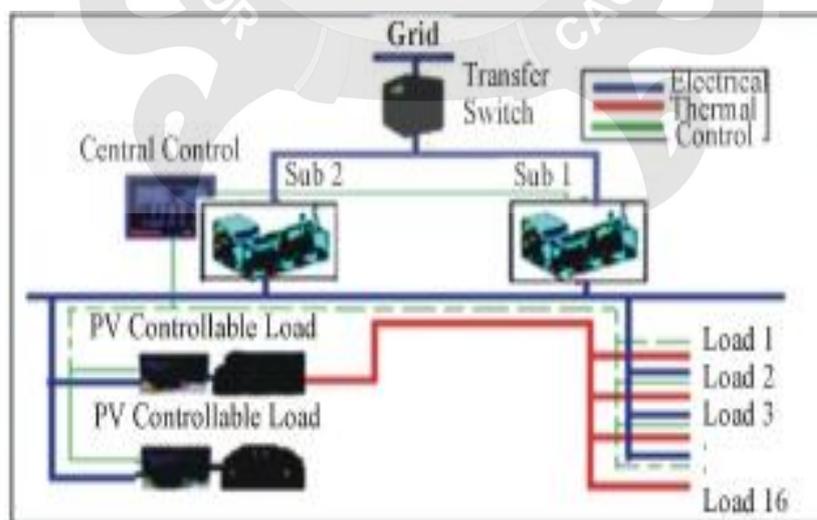
- En el futuro para proporcionar ambiente limpio hay que reducir el CO₂. Una forma es reducirla mediante su uso en otros y convertirla en otra forma. En microred el sistema preferido es el sistema descentralizando. Por descentralización la red de micro sistema la eficiencia del sistemas se incrementaría y por lo tanto reducir la cantidad de perdida de la energía eléctrica en el sistema de transmisión y beneficiar eficiencia del sistema de energía y esto será más económicamente beneficiario reducir el número de líneas eléctricas y el Sistema de cogeneración jugará un papel muy importante en micro grid sistema de red micro. La Cogeneración de energía y calor en el sistema de micro red podrían proporcionar beneficios adicionales y su eficiencia varía en un 85% - 95%. sistema de combustible solamente tiene una eficiencia del 34%
- Sistema de energía verde debe ser implementado para satisfacer a aquellos clientes que no están satisfechos con el sistema de suministro de electricidad local que pueden acercarse a la energía verde a través de la red de energía eléctrica o puede instalar su propio sistema de energía como sistema de energía renovable.
- El consumidor que no está satisfecho con el sistema convencional, debe propender la instalación de un PV solar o turbinas de viento, así instalar su propio sistema de suministro de energía eléctrica, tales como mini-hidro, pila de combustible, la célula solar fotovoltaica y turbinas de viento y muchos otros tipos de sistemas de energía renovable que están disponibles en los países, en el futuro debe Pakistán instalar el sistema de microrredes para el verde, limpio y libre de contaminación del medio ambiente

F. MODELO SIMULINK PARA LA MICRO RED

En microredes todas las energías renovables se integran en el sistema de CC y se almacenan en cuadrícula. Tanto el bus de CA y CC poder ser usado. Propuesto diagrama de bloques del sistema se muestra en la Figura 3.10. Para el perfil de carga nuevos elementos como PV, E-coche, baterías, pilas de combustible, etc. viento pueden ser utilizados.

Para los métodos de simulación, la simulación del perfil de carga utilizado para la carga doméstica, Dinámicas desequilibradas protección estrategias de restauración utilizados en el modelo propuesto. El modelo de Simulink utilizado en este trabajo de investigación se muestra en La Figura 3.10. En el modelo Simulink como se muestra en la figura el número de puntos de carga son 16 y fuentes de alimentación utilizadas en este modelo son pila de combustible (FC), las turbinas eólicas y las células fotovoltaicas en Microgrid para los efectos de simulación de la energía solar, poder células se utiliza con alimentación principal hidro.

Figura 2.10. Diagrama Bloques de sistema propuesto



Fuente: Energy and Power Engineering, 2015, 7, 12-29



C. Control y manejo de la Microrred. (De Brabandere, Vanthournout, Driesen, Deconinck, & Belmans, (2007); Driesen & Katiraei, (2008),:

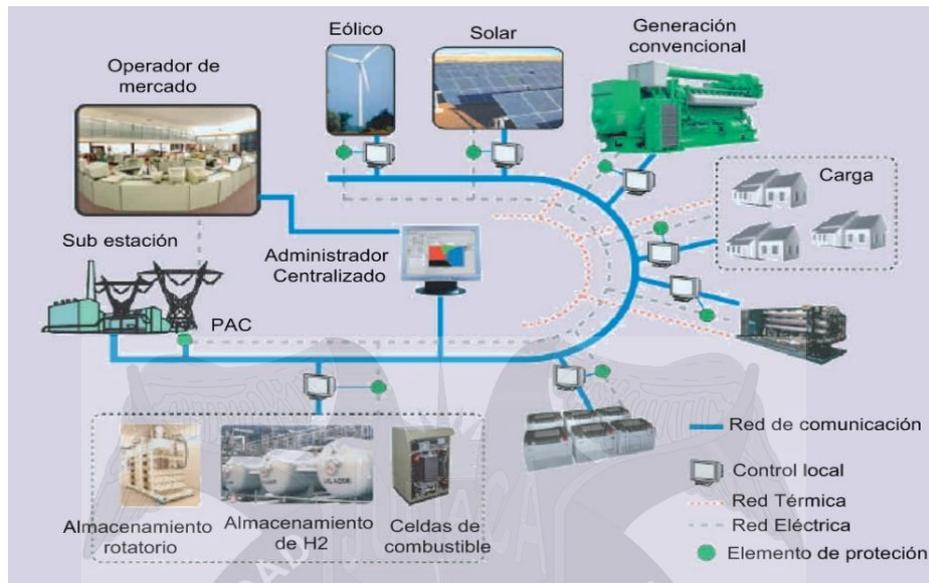
Plantea:

“El desarrollo de la electrónica de potencia, ha mejorado la confiabilidad de las comunicaciones y el incremento de la capacidad de los medios de almacenamiento han llevado a considerar la micro-redes como el paso previo a los sistemas inteligentes (De Brabandere, Vanthournout, Driesen, Deconinck, & Belmans, 2007; Driesen & Katiraei, 2008), la Figura 3.14 muestra de modo esquemático la participación de varias tecnologías de generación y almacenamiento en una MR”.

La implementación de una micro-red presenta varias ventajas como: mejorar la calidad de la energía suministrada, mejorar la autonomía de los clientes servidos ya que estos pueden generar una parte de la energía que consumen y vincular generación distribuida permitiendo la introducción de generación alternativa.

Entre las desventajas se puede contar: el alto costo de su implementación; la necesidad de una red de comunicaciones robusta; la variabilidad de las fuentes renovables (solar o eólica) que afectan la continuidad de la generación lo que demanda un mayor esfuerzo para mantener el suministro de forma estable. **(pp 4-5).**

Figura 2.11. Elementos de una micro-red. (Hatzigiorgiou, Asano, Irvani, & Marnay, 2007)



Fuente: (Hatzigiorgiou, Asano, Irvani, & Marnay, 2007)

2.2.6. REDES INTELIGENTES O SMART GRIDS

Herrera Marco (enero 2013) en su tesis, define:

“Smart Grid es una red que integra de manera inteligente las acciones de los actores que se encuentran conectados a ella: generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas a la vez, con el fin de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible”. (pp-7)

Juan Pablo Fossati (junio 2011), define:

“Como una Unión de la red eléctrica incorporando las tecnologías digitales y de comunicaciones a fin de acoplar los datos provenientes de los distintos puntos de la cadena del sistema eléctrico y transformarlos en información y acciones que lleven a una mejora en su gestión a fin de elevar su

eficiencia, confiabilidad, calidad de servicio y producto, para hacer frente a los nuevos desafíos de múltiples generadores diversos y nuevos estilos de consumo." (pp- 18].

a. Ventajas de las redes inteligentes.

Juan Pablo Fossati (junio 2011), enfatiza:

Las principales ventajas que introduce el concepto de micro-red inteligente son las siguientes:

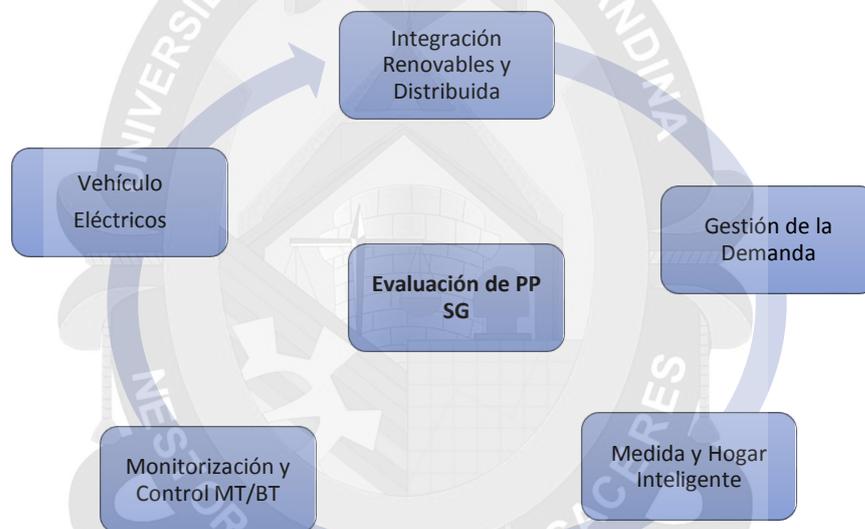
- Reducción de los picos de consume
- Reducción de los picos de consumo:
- La red inteligente permite que el excedente de energía sea incorporada a la red.
- El usuario se transforma en generador de electricidad, es decir, en un productor descentralizado.
- El usuario adquiere a su vez múltiples ventajas como:
 - Pago por uso: al no ser necesaria una lectura manual, se eliminan los recibos y los consumidores sólo pagan por lo que consumen.
 - Tarifas flexibles: las empresas gestionan diversas tarifas para optimizar el consumo de la energía.
- Gestión en remoto del suministro de energía: no será necesario una intervención local para activar, terminar o incrementar el suministro.
- La red inteligente permite la automatización de cada toma energía en cada domicilio y negocio de la red, es decir, se puede reducir la factura energética automáticamente, ya que se puede desconectar o conectar, sin la intervención humana.

- La coordinación y gestión inteligente de las cargas y de la micro-generación, puede suponer menos problemas al operador de la red que en el caso convencional. [16, 17].

b. EJES DE DESARROLLO DE LAS REDES INTELIGENTES

Las Redes Inteligentes incluye múltiples componentes de un sistema de un sistema eléctrico, por ello es conveniente definir las Smart Grids en ejes de desarrollo específico que surgen como respuesta a las propias necesidades y propósitos. Se puede resumir en la Figura 2.12.

Gráfico 2.12: Ejes de desarrollo de las Redes Inteligentes



Fuente: INDRA

c. EL FUTURO DE LAS REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS)

Juan Pablo Fossati (junio 2011), comenta:

La red eléctrica del futuro debe tener las siguientes características:

- Permitir la autogestión de incidencias
- Estar dotada de resistencia frente a ataques y desestabilizaciones

- Potenciar la participación activa de los consumidores
- Tener capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la era digital
- Acomodarse a una amplia variedad de modalidades de generación y almacenamiento
- Facilitar el desarrollo de los mercados
- Realizar una optimización más eficiente de sus activos y operación
- Minimización de las interrupciones del servicio empleando nuevas tecnologías que puedan adquirir datos, ejecutar algoritmos de soporte a la decisión, limitar interrupciones, controlar el flujo de energía y restaurar el servicio rápidamente **(pp-18)**

2.2.10. Marco Normativo para Generación Distribuida y Smart Grid.

- Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE-Coes).
- Ley de concesiones eléctricas (Ley N° 25844).
- Reglamento de la ley de concesiones eléctricas (D.S. 009-93 EM).
- Código nacional de electricidad suministro y utilización (Parte 4).
- Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica (Ley N° 28832).
- Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con energías renovables (D.L. N° 1002).
- Ley de promoción del uso eficiente de la energía (Ley N° 27345).
- Decreto Ley N 1221: Regula la generación Distribuida como cogenerador de energía.



- Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables
Decreto Supremo 012-2011-EM (Marzo 2011)
- Bases de la segunda Subasta RER , aprobadas mediante Resolución
Viceministerial N° 036-2011-MEM/VME del Ministerio de Energía y
Minas2
- Propuesta de Marco Normativo para el Desarrollo de Redes Eléctricas
Inteligentes y Generación Distribuida en El Perú, **Consultor:**
EDFINTERNATIONAL NETWORKS SAS Contrato, N° F-034-13202-
Lima, 14 de septiembre de 2017.



2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Definición de Generación Distribuida (GD)

Lorente de la rubia (2011) define:

“Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.

Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico”

“Es la generación conectada directamente en las redes de distribución. Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas. Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1,000 kW. Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga”.

“Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución. Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando a la cogeneración, con la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados” (pp. 21-22).

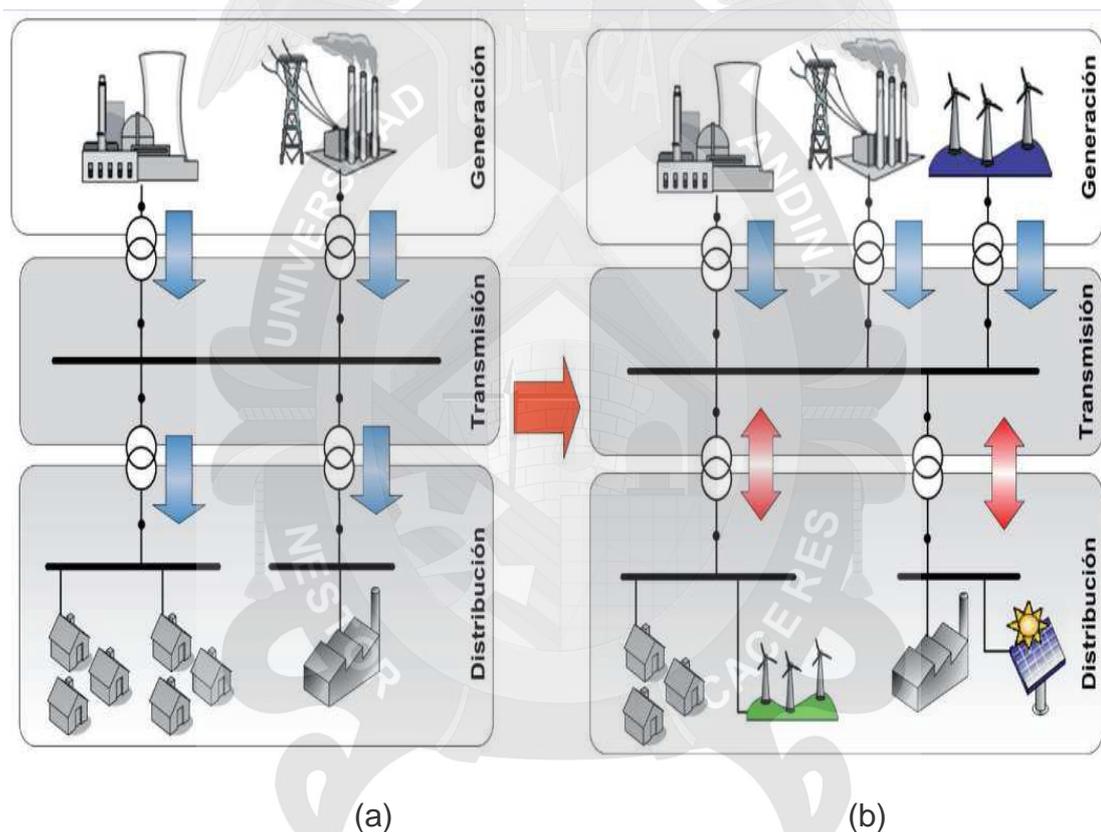
Lorente de la rubia (2011), Valverde Saborío (2012), define:

“La Generación Distribuida es la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con

la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética. Una pequeña potencia ubicada en puntos cercanos al consumo conectada a la red de distribución" (pp 21-22).

En la figura 2.13 se presenta una red de distribución convencional en forma radial y la red con generación distribuida.

Figura 2.13: Sistema eléctrico a) sin y b) con Generación distribuida.



Fuente: Endesa

2.3.2. Microrredes Eléctricas

a. Definición:

Juan Pablo Fossati (junio 2011), en su artículo sobre revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes, Define:



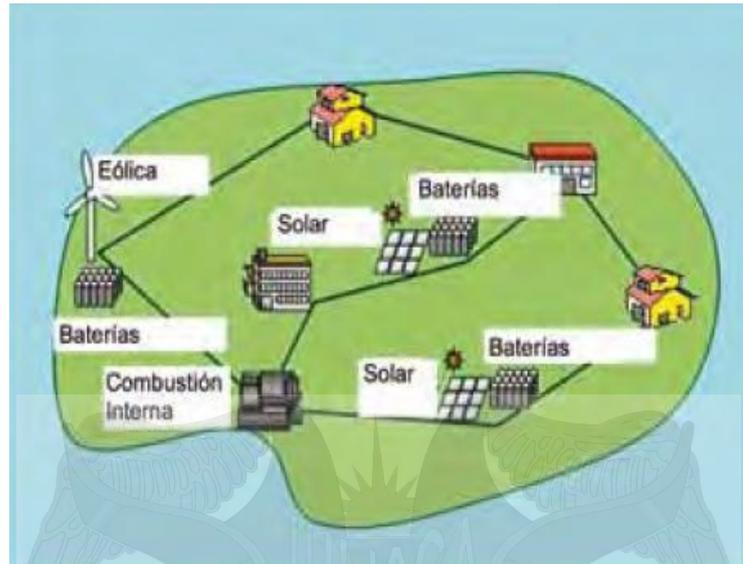
“Una micro red es una componente de la red inteligente la cual forma parte de la red de distribución pudiendo a su vez autoabastecerse y funcionar de forma independiente. El micro red está compuesta por un conjunto de cargas y generadores operando como un sistema único capaz de proporcionar potencia y calor. El funcionamiento y control de muchas de las fuentes que la integran están basados en electrónica de potencia, con lo que poseen la flexibilidad necesaria para garantizar la operación de todo el sistema como uno único. Este control flexible permite a la micro red presentarse al sistema eléctrico como una unidad controlable que abastece las necesidades locales con fiabilidad y seguridad”. (pp- 13)

b. Las aplicaciones de las micro redes inteligentes son:

Juan Pablo Fossati (junio 2011)

- Sistemas para usuarios o comunidades aisladas: se trata de sistemas hasta un máximo de 100 kW de potencia.
- Sistemas tipo retrofit: se trata de sistemas renovables instalados en redes locales en media tensión, hasta potencias de unos MW, con el fin de reducir las horas de funcionamiento de los generadores diesel existentes, ahorrando combustible y reduciendo las emisiones contaminantes.
- Sistemas combinados que utilizan únicamente fuentes de origen renovable y que unen las tecnologías fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica.
- Sistemas híbridos que combinan las fuentes de origen renovable con fuentes convencionales, y que permiten operar tanto de manera aislada como conectada a la red de distribución. (pp-15)

Figura 2.14. Esquema de Microrred



Fuente: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

a. Elementos principales que conforman una Microrred

Herrera (2013) define:

“Los objetivos de una Microrred son maximizar el uso y la capacidad de los activos de generación, mediante la inteligencia construida en ella, para así incrementar las eficiencias y minimizar los costes. El núcleo principal en ella es un sistema de TIC (Tecnologías de Información y Comunicación), que permite la organización y el control de la red eléctrica como un ente único y una infraestructura de medición avanzada en las instalaciones de los usuarios.”

Se describen los elementos que forman parte de una Microrred inteligente::

1. Inversores
2. Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC)
3. Contadores Inteligentes
4. Concentrador

5. Aplicaciones Multi-utility.
6. Dispositivo de seccionamiento
7. Recursos distribuidos (generación y almacenamiento).
8. Control y manejo de la Microrred
9. Protección. **(pp 21-22)**,

2.3.3. El medidor inteligente:

Díaz Ricardo, Scaramutti José C., Arrojo Carlos D., Nasta Hernán A. (2013), en el artículo sobre: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE MEDICIÓN INTELIGENTES", enfatizan:

"La gran parte de sus bondades están directamente relacionadas con cambios conceptuales, y no solo con el simple reemplazo de los viejos y conocidos medidores de energía; supone también modificaciones en la red de suministro", que debería mirar hacia una red más "inteligente" o "Smart Grid".

De la medición convencional a los sistemas AMI, no hay una definición única para lo que puede entenderse como un "sistema de medición inteligente", sin embargo, siempre supone el uso de un medidor inteligente, instalado a nivel de usuario, con las siguientes características típicas:

- Lectura local o remota.
- Configuración de sus parámetros de funcionamiento (tarifas por franjas horarias, prepago, etc.), en forma local o remota;
- Posibilidad de limitación o eventual desconexión remota del usuario;

- Registro bidireccional y en tiempo real de la energía eléctrica (relevamiento de perfiles de carga, calidad de servicio, detección de fallas, etc.);
- Capacidad de interactuar con otros dispositivos locales, ya sean de consumo (p.ej. electrodomésticos) o generadores (microrredes, generadores distribuidos), en forma directa o indirecta, a partir de adecuados módulos de comunicaciones. (pp- 491-492)

Figura: 2.15: Medidor inteligente bidireccional



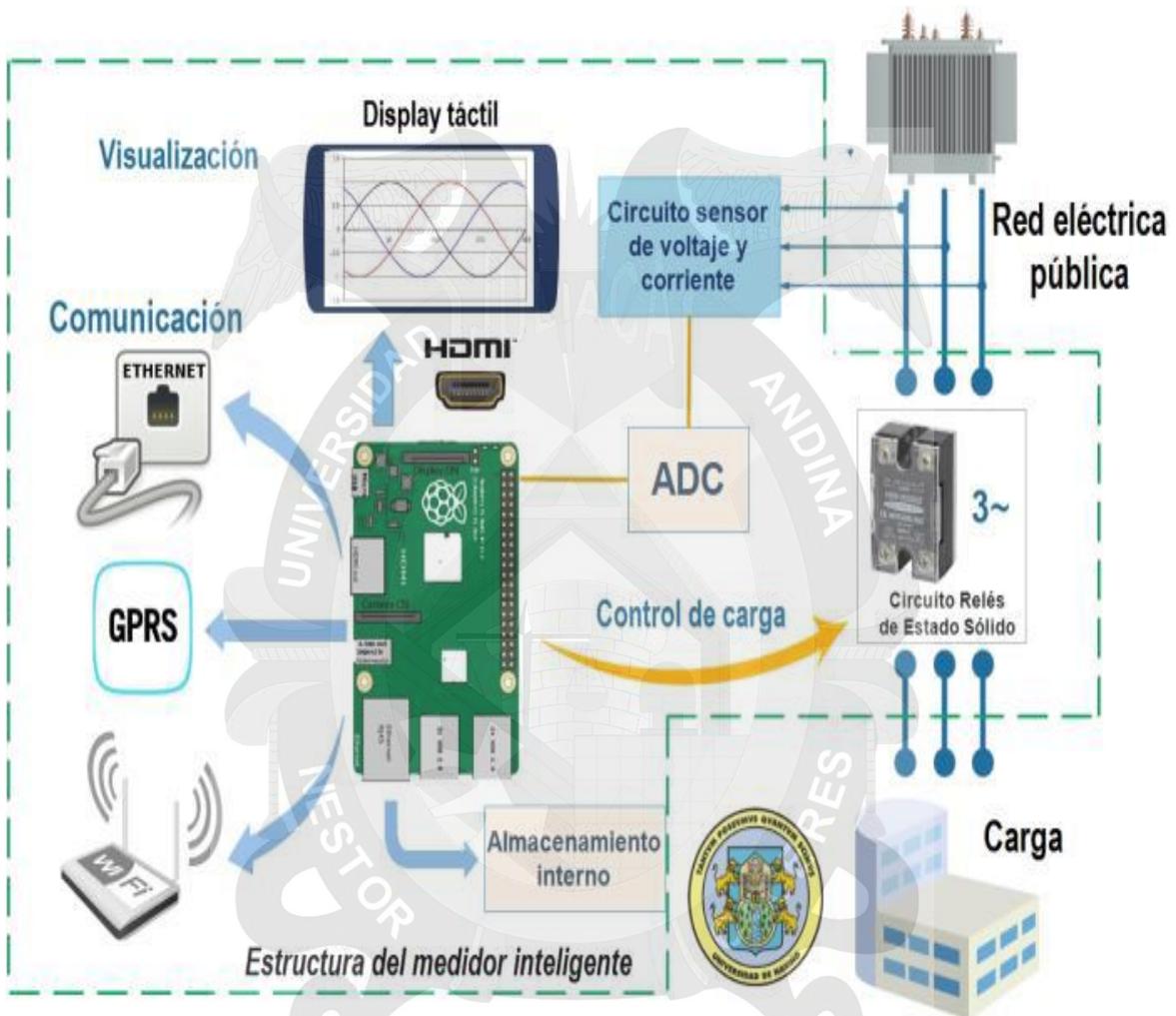
Fuente: Enel Smart Metering Solution

Arciniegas (2012), Opina:

“Los requerimientos principales considerados para el diseño del medidor fueron: Rango de medida suficiente para operación en baja tensión, a una corriente de máximo 100 amperios; distintos canales de comunicación para interrogación de medidas en red local o fuera de ella; interfaz gráfica de usuario para manipulación directa local o remota; capacidad de integración

a un software de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), que en el caso presentado es Survalente” (pp 1-3).

Figura 2.16: Estructura del Medidor. (La línea verde punteada limita los módulos interiores del medidor)



Fuente: Papers del artículo

2.3.4. Concepto de red inteligente.

Juan Pablo Fossati (junio 2011), define en su artículo:

“El incremento exponencial de la demanda eléctrica así como requerimientos de calidad de suministro cada vez más exigentes han

obligado a que paulatinamente se avance hacia un nuevo concepto de red eléctrica. A diferencia de las redes eléctricas tradicionales las redes inteligentes comprenden al sistema de transmisión y distribución, a los generadores y a los usuarios. Por otra parte las redes inteligentes favorecen la integración de sistemas de energías renovables y de almacenamiento” [p-13].

“Para conseguir este objetivo es necesario un reparto óptimo de la energía lo que implicaría, bien su almacenamiento cuando existe un excedente (algo complejo y costoso), o una reestructuración del sistema actual para adaptarse a la demanda de forma flexible aprovechando las tecnologías existentes”. (p-15)

2.3.5. Proceso de análisis para la implementación de Smart Grid

“La implementación de las redes Eléctricas Inteligentes o Smart Grids, se realiza con una interconexión de equipos que componen un sistema eléctrico e integrando las tecnologías de información digitales y de sistema de comunicaciones, con la finalidad de implementar los sistemas de medición, protección, control y supervisión, que garanticen una gestión óptima y sostenible para conseguir una mayor confiabilidad y calidad de suministro eléctrico a menor costo”.

El proceso de análisis operativo de un SMART GRID se puede resumir con una serie de preguntas. Figura 2.17

Figura 2.17. Proceso de análisis para implementación de Smart Grid

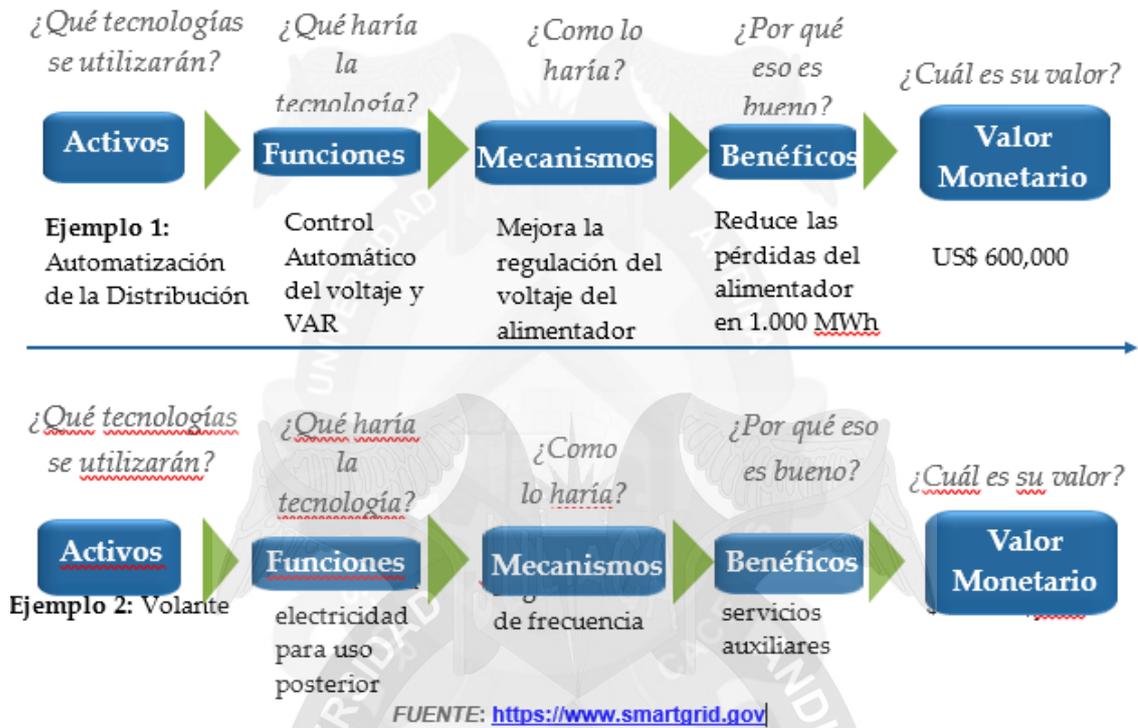
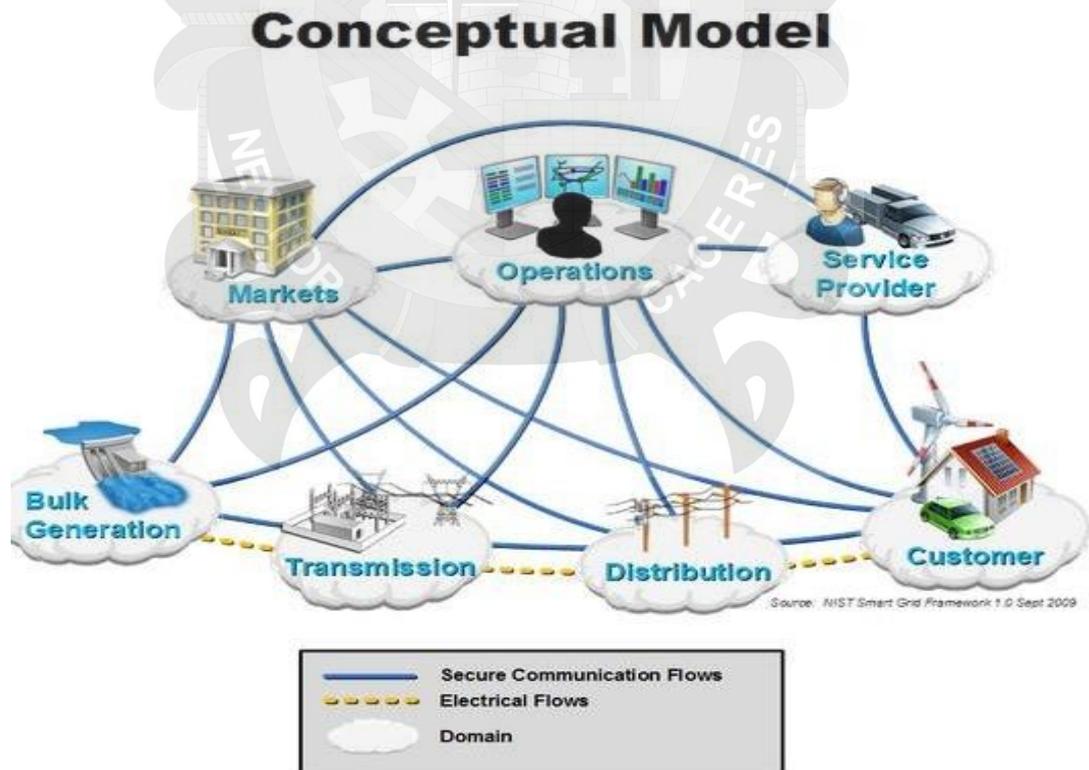


Fig. 2.18: Modelo de una Red Inteligente



Fuente: ENDESA



Sayas Poma, (o octubre 2015),

Hace una referencia diversas definiciones, así como visiones, actores y límites:

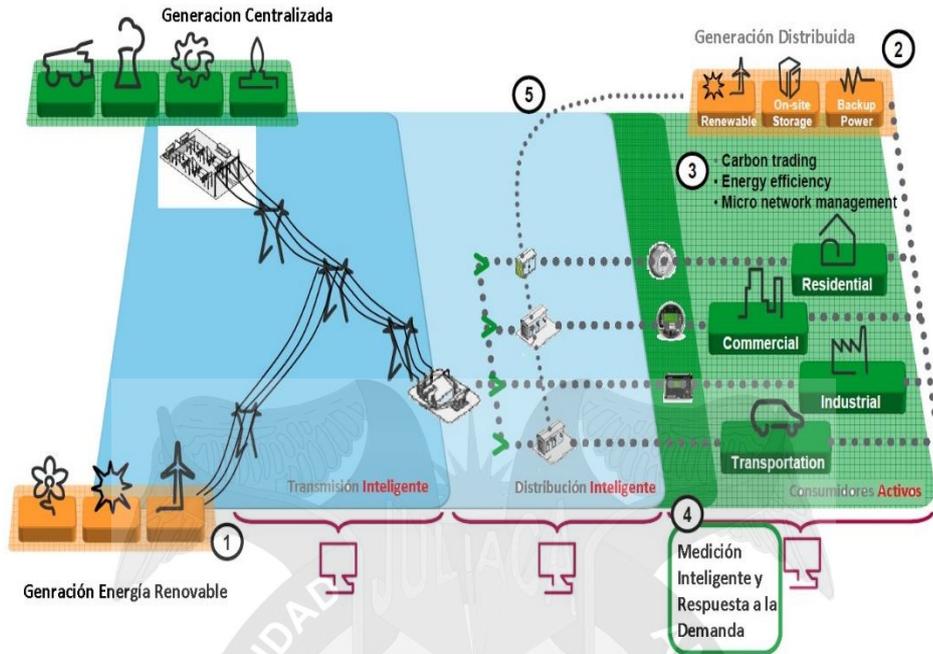
The U.S. Department of Energy: “Como una red inteligente integra tecnología avanzada de medición, técnicas de control y comunicaciones integradas a la red de eléctrica actual”.

The American economic association (AEA) afirma: “Como una Unión de la red eléctrica incorporando las tecnologías digitales y de comunicaciones a fin de acoplar los datos provenientes de los distintos puntos de la cadena del sistema eléctrico y transformarlos en información y acciones que lleven a una mejora en su gestión a fin de elevar su eficiencia, confiabilidad, calidad de servicio y producto, para hacer frente a los nuevos desafíos de múltiples generadores diversos y nuevos estilos de consumo.”

The National Association of regulatory utility commissioners (NARUC) define: “Una red eléctrica inteligente es un sistema de información de base de datos y sistema de comunicación integradas con generación, transmisión, distribución de energía eléctrica y las tecnologías de uso final que permita:”

- Promover la elección del tipo de consumidor: permitiendo a los usuarios gestionar las ofertas eléctricas más viables, más económicas y eficientes.
- Mejorar la confiabilidad utilizando la automatización y recursos alternativos para mantener el sistema de entrega, confiable y estable.
- Integrar energías renovables, es decir, que integre alternativas de almacenamiento y generación energética renovable”

Fig. 2.19: Componentes de sistema de Smart Grid



Fuente: The National Association of regulatory utility commissioners

Fig. 2.20: Tecnologías de Smart Grid [35]

Las Tecnologías de Smart Grid están siendo aplicadas a través de todo el sistema eléctrico, incluyendo la transmisión, distribución y usuarios



Fuente: Osinergmin



Las principales características de una red eléctrica inteligente:

- **Inteligente y segura**, es capaz de operarse y protegerse de manera automática, segura y simple. Dispone de información remota en tiempo real para la operación y el mantenimiento. Permite transferencias sin interferir en la operación.
 - **Optimizada**, para hacer el mejor uso de los recursos y equipamientos ya existentes.
 - **Eficiente**, permite satisfacer el incremento de la demanda minimizando las necesidades de la red concesionaria.
 - **Integrada**, consolida el mantenimiento, protección y control con sistemas de gestión energética (EMS), Sistemas de gestión de la distribución (DMS), comercialización y Tecnologías de la Información.
 - **Flexible**, adaptable a las necesidades cambiantes del sistema eléctrico, flujos de información bidireccional consumidores - proveedores.
 - **Abierta**, permite integrar sin restricciones las diversas tecnologías generación renovable. Facilita el desarrollo del mercado eléctrico interno y externo. Permite crear nuevas oportunidades de mercado, integración de tecnologías "plug and play".
 - **Interactiva**, actuación en tiempo real entre clientes y mercados.
 - **Predictiva**: permite la prevención de emergencias mediante estrategias de control automático de área amplia, en lugar de esperar a que las fallas ocurran.
 - **Distribuida**: permite al consumidor ejercer roles de generación a menor escala.
- Sostenible**, debe respetar las normas del medio ambiente y desarrollo sostenible.



2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

La incorporación de la generación distribuida (GD) a través de las pequeñas Centrales generadoras hidráulicas optimizará la calidad de energía eléctrica para los usuarios y dará mayor confiabilidad a la operación del sistema de distribución en media tensión para automatizar con el uso de redes inteligentes en la Región del Cusco.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La integración de las energías renovables como Generación Distribuida, reducirá los niveles de pérdida de energía, mejora los perfiles de tensión de la red de distribución y la calidad en el suministro de la energía eléctrica.
- b) La adecuada gestión de la demanda al 2016, permite predecir el comportamiento de la red en el horizonte de estudio con la integración de la generación distribuida
- c) Con la integración de generación distribuida y red inteligente en sistemas de distribución en media tensión dará mayor seguridad en la operación del sistema, frente a las faltas que se pueden presentar en el alimentador SI-01, los cuales reducirán los tiempos de restauración de las fallas y beneficiarán a los usuarios y a la empresa distribuidora.

2.5. VARIABLES E INDICADORES

2.5.1. Variables

Variables dependientes:

- Calidad de suministro
- Confiabilidad
- Eficiencia
- Nivel de tensión

Variables independientes

- Demanda eléctrica
- Oferta de Energía Distribuida
- Topología de Redes.

2.5.2. Indicadores

- **Calidad de suministro**

Tiempo de duración de interrupción (h)

Número de interrupciones (interrupciones/semestre)

- **Confiabilidad**

Cargabilidad de las líneas [%]

Índice de interrupciones Saifi, Saidi [%]

- **Eficiencia**

Potencia [MW]

Pérdidas técnicas [%]

- **Nivel de tensión**

Alta tensión [KV]



Media tensión [KV]

Baja tensión [KV]

- **Demanda**

Energía activa[Mw.h]

- **Oferta de energía**

Potencia generada activa [Mw.h]

- **Topología:**

Impedancia equivalente [ohms]





CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION CIENTÍFICA

La presente tesis de investigación corresponde al **método científico**, debido a que el estudio está basado en aplicaciones con el uso de una serie de instrumentos adecuados y pertinentes al caso investigación científica, empleando un conjunto de normas, leyes y procedimientos por el cual un científico debe regirse para realizar un estudio o investigación cuyos resultados tengan validez científica.

a. Tipo de Investigación

Por la finalidad de la tesis es una Investigación **aplicada** ya que busca medir y cuantificar las variables a través de la herramienta informática del software **DigSILENT 15.1.2** Power Factory, que permite realizar simulaciones con aplicación de flujo de carga al sistema eléctrico de Sicuani, obteniendo resultados cuantitativos para tomar decisiones sobre la integración de la generación distribuida a las redes de media tensión.

b. Nivel de Investigación

La presente investigación tiene un nivel **descriptivo** porque se hace un diagnóstico actual del sistema eléctrico Sicuani, y identifica la problemática



de la operatividad del sistema eléctrico de Sicuani, para luego explicar por qué de las causas y las condiciones para evaluar los efectos que trae consigo la investigación, explicando las posibles soluciones al problema planteados en el estudio.

c. Método de Investigación

Se usa el **método científico** porque es un proceso mediante el cual la teoría científica es validada con software **DlgSILENT 15.1.2 Power Factory** para la solución del problema determinado, haciendo la comprobación de la hipótesis, simulación y obtención de resultados para llegar a las conclusiones finales.

De acuerdo a la bibliografía existente, el estudio combinará métodos **Inductivo** y **Deductivo**, es decir empleará el método mixto por la relación entre dichos métodos, pues se partirá de eventos particulares que caracterizan la realidad del sistema eléctrico en estudio, los cuales permitirán establecer o inducir generalidades respecto a los efectos y consecuencias, y con esta base previa y con referencia a los conocimientos teóricos, en este caso, como la fallas que ocurren en las redes adyacentes a la red con generación distribuida, si no son despejadas adecuadamente pueden generar problemas en la calidad de suministro.

d. Diseño de la Investigación

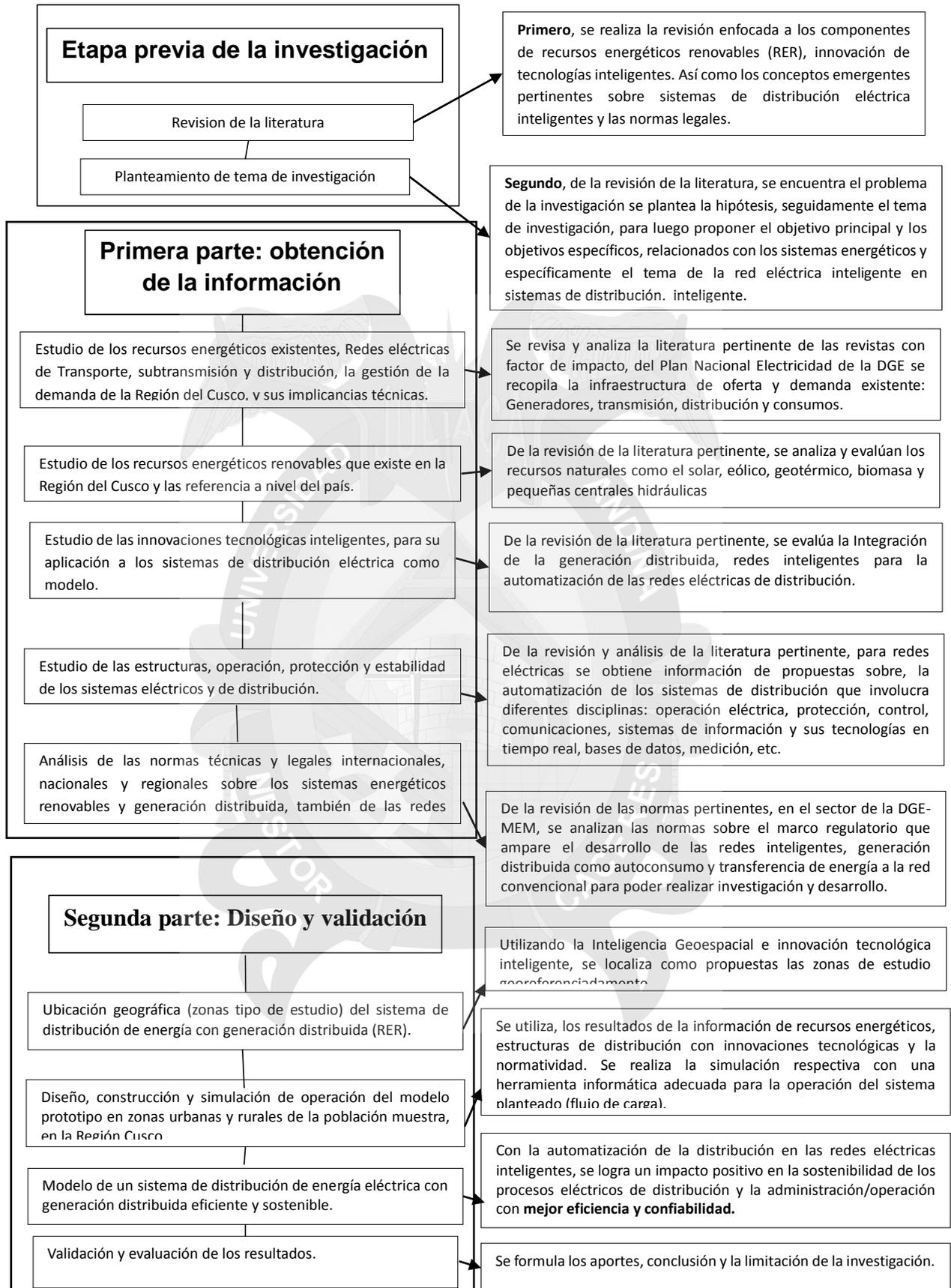
Es no experimental de carácter transversal porque se toman datos reales y especificaciones de los equipos presentes en materia de estudio,



observando los diferentes fenómenos en dos escenarios con y sin interconexión de la generación distribuida de las pequeñas centrales hidráulicas de Hercca y Langui a través del alimentador SI-01, donde se manipula las variables de control en la generación y ajustes en los equipos de protección para mejorar la calidad de suministro. Todas las actuaciones de los equipos en forma integrada se simularán con el programa computacional DIgSILENT 15.1.2 Power Factory, el siguiente gráfico muestra la metodología de una investigación en forma general. (elaboración propia).



Esquema 1. Etapas de metodología de investigación



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Para el presente estudio sea tomara como población, las localidades urbanas y rurales del sistema eléctrico Sicuani de la región Cusco.

La muestra para este trabajo de investigación se considera un tipo no probabilístico, para el caso se ha tomado datos reales de la demanda de las redes de distribución del sistema Canchis en su totalidad, que suministra energía eléctrica 60936 familias.

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para la obtención de datos de las redes de distribución de Sicuani y Combapata se ha recurrido a la base de datos históricos que la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. Vilcanota posee.

El análisis de datos que se obtenga se realizara utilizando la estadística descriptiva a través de:

- Datos reales al 2016.
- Medidas de tendencias central, media aritmética, la mediana y moda.
- Medidas de desviación para medir la dispersión de datos y la varianza.

Los resultados y los datos se representarán en tablas de frecuencias y gráficas.

3.4. DISEÑO DE LA CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para el procesamiento de datos recolectados se han usado las herramientas informáticas que a continuación se listan:

- **Power Factory DigSILENT 15.1.2.**
- **AutoCAD** (2016). Edición de imágenes y diagramas unifilares
- **Microsoft Visio** (2010)
- **Word** (2016). Edición de texto.
- **Excel** (2016). Edición de cuadros y archivos de eventos.
- **ArcGIS** (Ver. 9). Base de datos de la red de ELSE
- **GOOGLE EARTH**

3.5. ESTILO O NORMAS DE REDACCIÓN

La norma o estilo de redacción utilizada para este proyecto y el informe correspondiente, es el adoptado por la mayor parte de investigadores de Ingeniería es el método APA 5.0 para el texto y para las referencias bibliográficas la norma IEEE



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE OPERATIVIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE SICUANI CON LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA 2016

4.1. INTRODUCCIÓN

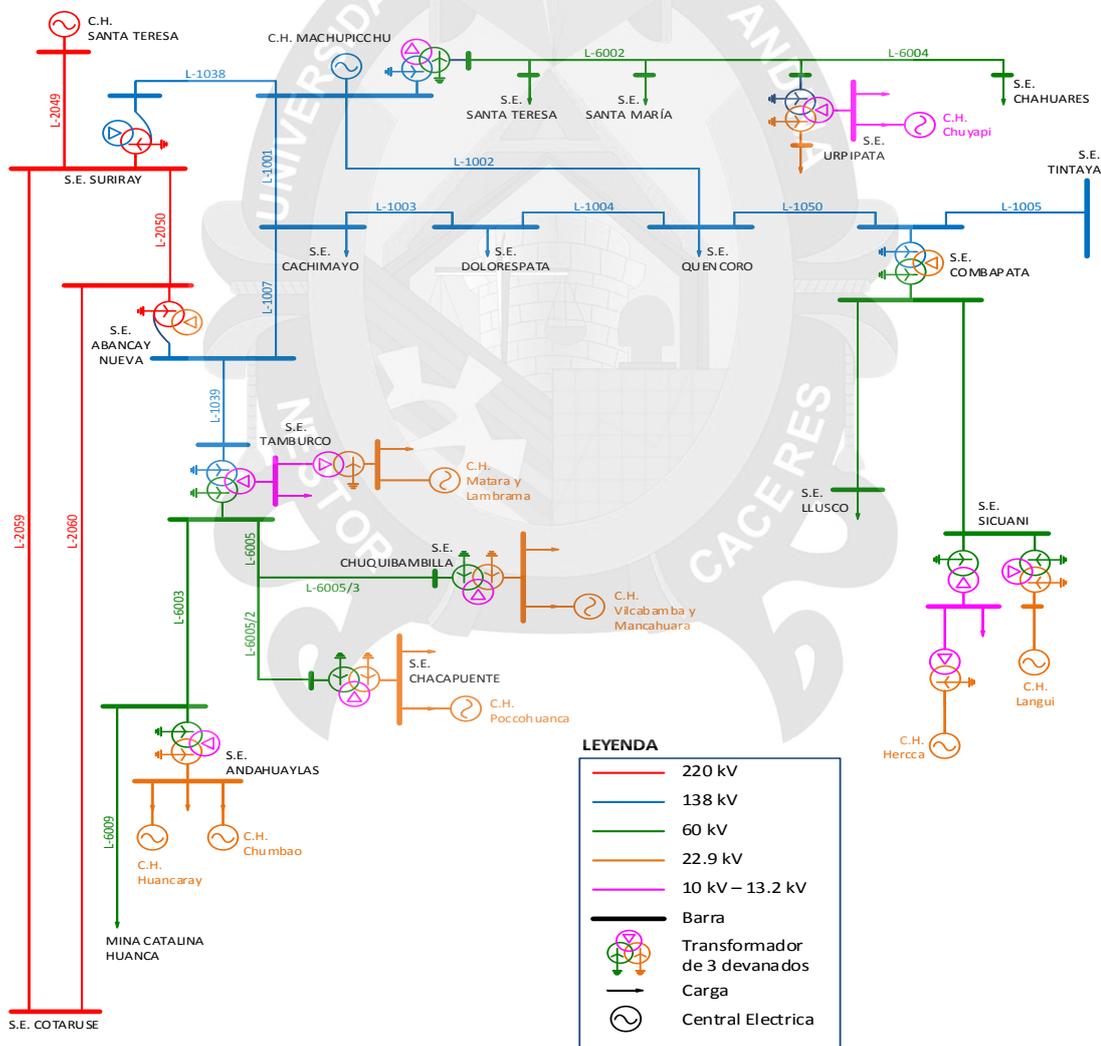
En la actualidad la Generación Distribuida, ha tomado importancia debido a diversos factores, como es la limitación de recursos fósiles y el notable incremento en el precio del petróleo a nivel mundial, también muchos países han comenzado en la investigación y desarrollo de energías renovables o alternativas para la generación distribuida.

El incremento de la reactivación de las pequeñas centrales generadoras hidroeléctricas conectadas a las redes eléctricas de distribución en media y baja tensión. Estas conexiones crean una serie de costos y beneficios en las redes de la energía eléctrica, como son: aumentar y reducir las pérdidas de energía, la necesidad de reforzar la capacidad de transporte de las líneas y centros de transformación para dar nuevos escenarios de operación con la inyección de la generación distribuida y su validación con simulación de flujo de carga. Para las empresas eléctricas de distribución la estimación de las pérdidas eléctricas es fundamental, del mismo modo es necesario evaluar el aspecto técnico y económico como parte operativo de sus redes.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ÁREA SUR ESTE

El “sistema eléctrico en estudio” en donde las minicentrales hidráulicas (generación distribuida), se encuentran conectadas a la red en Media Tensión (AMT) a su vez que está conectada, a la subestación de transformación de AT/MT y las redes de alta tensión que son líneas de transmisión en 66 kV, 138 kV y 220 kV, y también la GD conectadas en niveles de tensión de 22.9 kV y 10 kV en las diferentes subestaciones de AT/MT. La Figura 6.1 muestra un panorama general del diagrama unifilar del Área Sur Este del SEIN.

Figura 4.1. Diagrama unifilar del SEIN Área Sur Este y ubicación de la GD



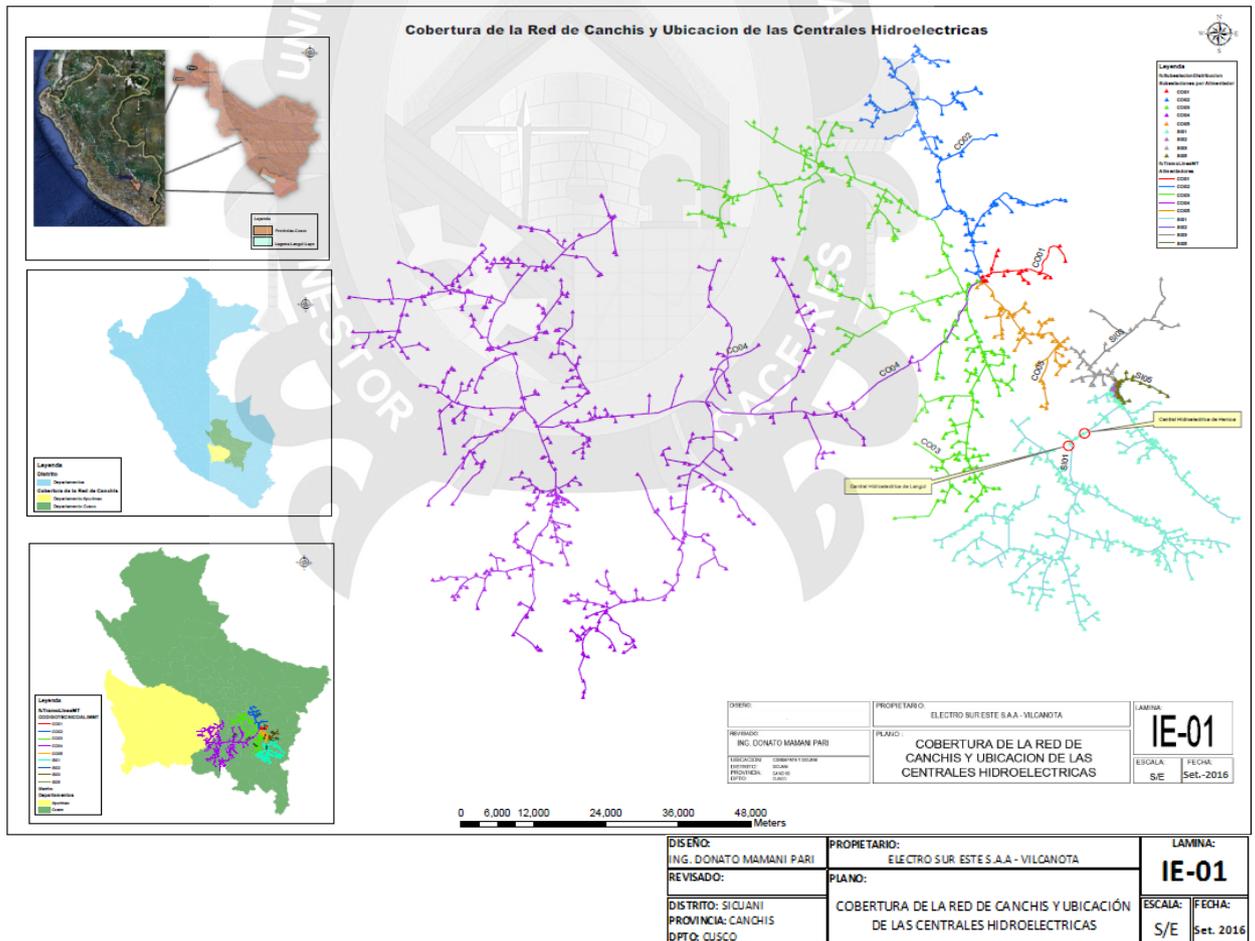
Fuente: Elaboración propia en base a datos del COES y ELSE

4.3. ÁMBITO GEOGRÁFICO

En la presente tesis se tomará la población tanto urbanas y rurales del sistema eléctrico Sicuani, que suministra energía eléctrica a 62936 familias en el año 2016.

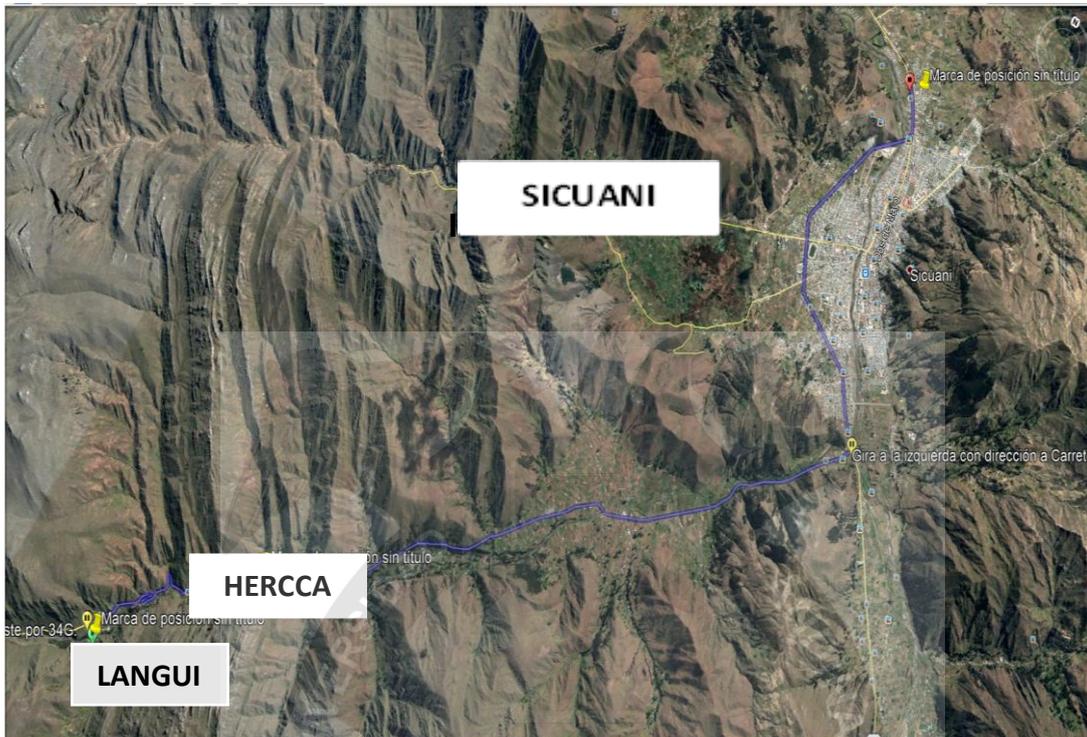
Descripción geográfica: La laguna Langui-Layo se ubica el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, Región Cusco, el agua de la laguna Languí-Layo es vertida al río Languí y captada 10 km aguas abajo mediante una toma de fondo en el río Hercca, a una altitud sobre el nivel de mar de 3800 m y 3926 m, donde están ubicadas las pequeñas Centrales Hidroeléctricas de Hercca y Langui.

Figura: 4.2 Mapas de Ubicación de Cobertura del Sistema Eléctrico Canchis.



Fuente: Elaboración propia

Figura: 4.3 Imagen satelital de las C.H de Hercca y Langui



Fuente: google earth - elaboración propia

4.4. MERCADO ELÉCTRICO

El pronóstico de la demanda puede llegar a disminuir la incertidumbre sobre el futuro, permitiendo la elaboración de planes y campos de acción acorde a los objetivos, también permiten tomar acciones correctivas apropiadas y a tiempo cuando ocurren situaciones fuera de lo planeado.

En el presente capítulo, se analiza el impacto de la integración de la generación distribuida (GD) en la operación del sistema eléctrico Canchis, considerando indicadores de calidad, confiabilidad, pérdidas de energía y demanda en diferentes periodos para los diferentes escenarios que se

mostrarán; tomando en cuenta la proyección de la demanda eléctrica, con el empleo del programa para la formulación y resolución de problemas, con el Software **DigSILENT PowerFactory 15.1.2** que permite centrar la atención en la formulación del problema y variantes a conocer del sistema eléctrico de Canchis, sin embargo para analizar los resultados es conveniente conocer el fundamento teórico y algorítmico de este programa, tomando en cuenta las normas que rigen el sistema eléctrico nacional.

4.4.1. Proyección de la Demanda al Año 2016

Para tener un mejor panorama de las posibles tendencias de crecimiento que el sistema eléctrico de Canchis, se ha tomado en cuenta el "Plan de Desarrollo Eléctrico 2012-2016, elaborado por la empresa concesionaria del servicio eléctrico Electro Sur Este S.A.A.

La proyección vegetativa, se realizó con las series históricas de las ventas de energía global y por unidad de negocio, información que se tiene mensualmente. La proyección global se realiza con el método ARIMA, para el año 2016. Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Demanda por Alimentadores del Sistema Canchis al año 2016

SET	ALIMENT.	2012	2013	2014	2015	2016
SICUANI	SI- 01 (KW)	921	989	1028	1068	1201
	SI- 02 (KW)	576	619	643	668	751
	SI- 03 (KW)	720	773	804	835	939
	SI- 05 (KW)	1662	1784	1856	1926	2166
TOTAL SICUANI	(KW)	3880	4164	4331	4496	5057

Fuente: Electro Sur Este S.A.A - Área Control de calidad



4.4.2. Métodos de Proyección

Las técnicas de proyección de la demanda eléctrica, se clasifican en:

- 1- Métodos econométricos
- 2- Métodos de series de tiempo

1. Métodos Econométricos

Este método analiza cualitativamente las correlaciones causales de variables económicas con:

- Ventas de energía, a clientes regulados y libres.
- Registros o reportes de demanda en los alimentadores y subestaciones.
- Evolución del costo promedio de potencia y energía por unidad de venta.
- Variación de factores de carga y pérdidas de potencia en la red.
- Incremento del número de usuarios finales conectados a la red
- Crecimiento de la poblacional de la zona del estudio.
- Variación del Producto Bruto Interno (PBI).
- Incorporación de nuevas cargas residenciales y especiales a la red.

2. Métodos de series de tiempo (tendencial)

Los métodos de series de tiempo o tendencial, se utiliza cuando el comportamiento del mercado eléctrico es relativamente pequeño a futuro, lo cual puede determinarse con modelos de mínimos cuadrados, obteniendo una correlación estadística adimensional que puede ser validado con los datos del pasado y siempre que esté disponible la información histórica en forma confiable y completa.

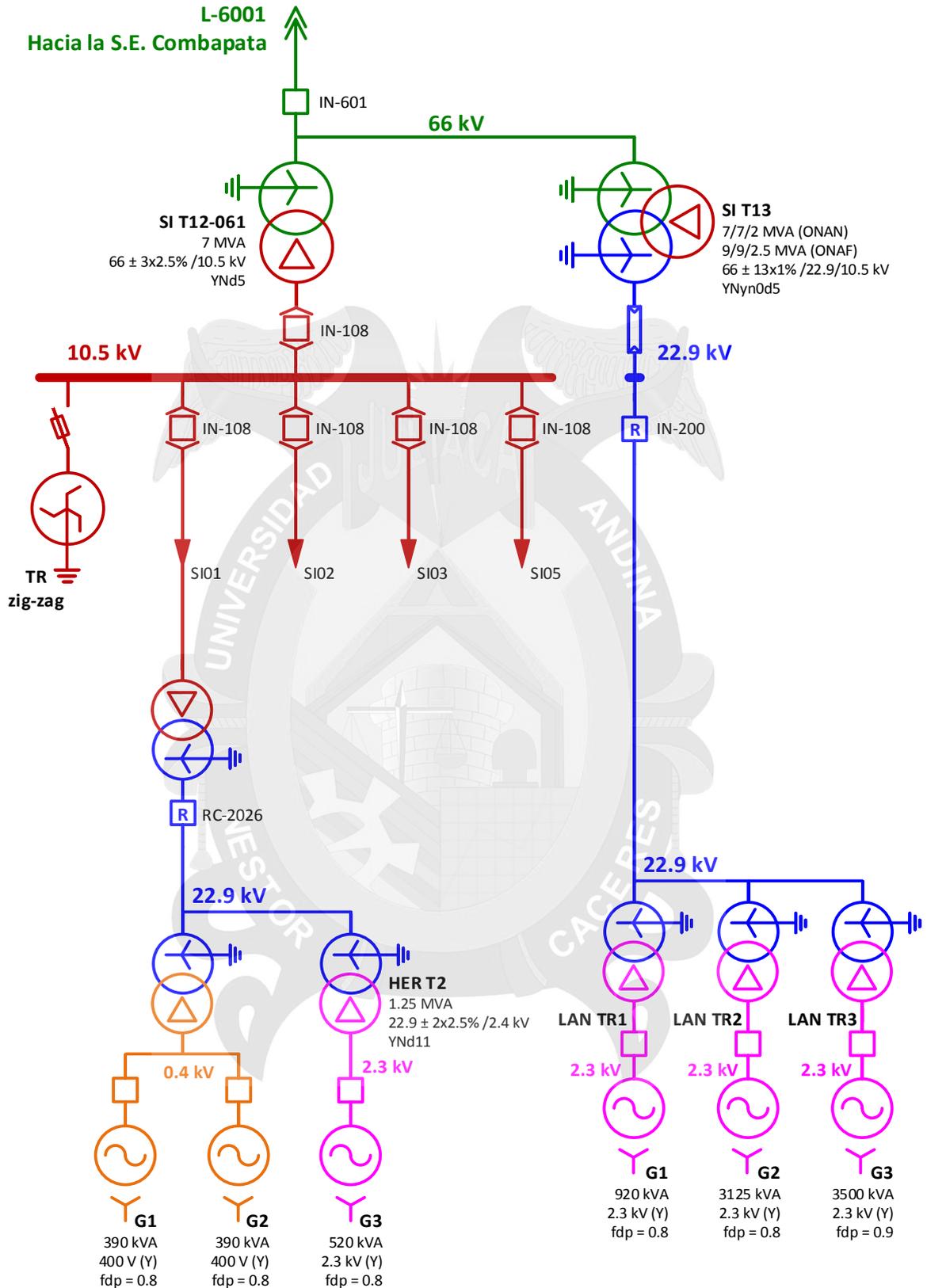
4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ÁREA SUR ESTE

La subestación de Sicuani es de transformación de AT/MT por intermedio de dos transformadores de potencia SI T12-061 de 7 MVA de 66/10.5 kV y el T13 de 7/7/2 MVA de 66/22.9/10.5 kV. Ambos transformadores se conectan por un único interruptor al SEIN a través de la línea L-6001 desde la S.E. Combapata.

En el transformador T12 están conectadas las cargas en el nivel de 10.5 kV, los alimentadores SI01, SI02, SI03 y SI05. En el alimentador SI01 se cuenta con GD, la mini C.H. Hercca.

En el transformador T13 está conectado únicamente la mini C.H. Langui en el nivel de 22.9 kV por intermedio de una línea del mismo nivel de tensión

Figura 4.4. Diagrama unifilar de S.E. Sicuani y la mini C.H. Hercca y Langui



Fuente: Elaboración propia en base a datos brindados por ELSE

A. Mini central hidráulica Hercca

La mini central hidráulica está ubicada en el distrito de Langui de la Provincia de Canas y se conecta a la red del AMT SI01, en nivel de 22.9 kV. El alimentador SI01 cuenta con dos niveles de tensión: de 10.5 kV que parte desde la S.E. Sicuani hasta la Puente Arturo y de 22.9 kV desde la S.E. Puente Arturo, donde está un autotransformador elevador de 22.9/10 kV. La central está a 16 km de la S.E. Sicuani.

Está conformado por 03 generadores cuya potencia instalada suma 1300 kVA, dos grupos (G1 y G2) idénticos se conectan a través de un transformador elevador de 22.9/0.4 kV a la red de 22.9 kV, el grupo G3 se conecta a la red de 22.9 kV a través de un transformador elevador de 22.9/2.3 kV en la subestación de Hercca. En el table 6.2 se muestra las características de los generadores.

Tabla 4.2. Características de los generadores de la mini Central Hidráulica Hercca

Grupo	Marca	Potencia [kVA]	Factor de potencia	Tensión de fase [kV]	Grupo Conexión	Resistencia Tierra [Ω]
G1	AVK Deutschland	390	0.8	0.40	YN	0
G2	AVK Deutschland	390	0.8	0.40	YN	0
G3	AEG	520	0.8	2.30	YN	0
TOTAL		1300				

Fuente: Elaboración propia en base a datos brindados por ELSE

B. Mini central hidráulica Langui

La mini central hidráulica está ubicado en el distrito de Langui de la Provincia de Canas y se conecta a la S.E. Sicuani al nivel de 22.9 kV a través de una línea desde la C.H. Langui. Hasta antes del 2016 la central se conectaba en el alimentador SI05 en el nivel de 10.5 kV en la S.E. Puente Arturo, sin embargo, con la ampliación de la mini central actualmente existe una línea de 22.99 kV dedicada para la mini C.H. de Langui, y el transformador T13 de la S.E. Sicuani está destinada para conectarla a la red.

Está conformado por 03 generadores cuya potencia instalada suman 7545 kVA, cada grupo cuenta con un transformador elevador de 22.9/2.3 kV y se conecta a la red de 22.9 kV, de propiedad de la mini C.H. Langui, hasta la S.E. Puente Arturo, y de este último hacia la S.E. Sicuani, es de propiedad de ELSE. La distancia aproximada de la central hasta la subestación AT/MT es de 19 km. En la tabla 6.3. se muestra las características de los generadores.

Tabla 4.3. Características de los generadores de la mini Central Hidráulica Langui

Grupo	Marca	Potencia [kVA]	Factor de potencia	Tensión de fase [kV]	Grupo Conexión	Resistencia Tierra [Ω]
G1	L-G01	920	0.8	2.30	Y	0
G2	L-G02	3125	0.8	2.30	Y	0
G3	L-G03	3500	0.9	2.30	Y	0
TOTAL		7545				

Fuente: Elaboración propia en base a datos brindados por ELSE



4.6. Operación Del Sistema Canchis SI-01, año 2016 (DIgSILENT

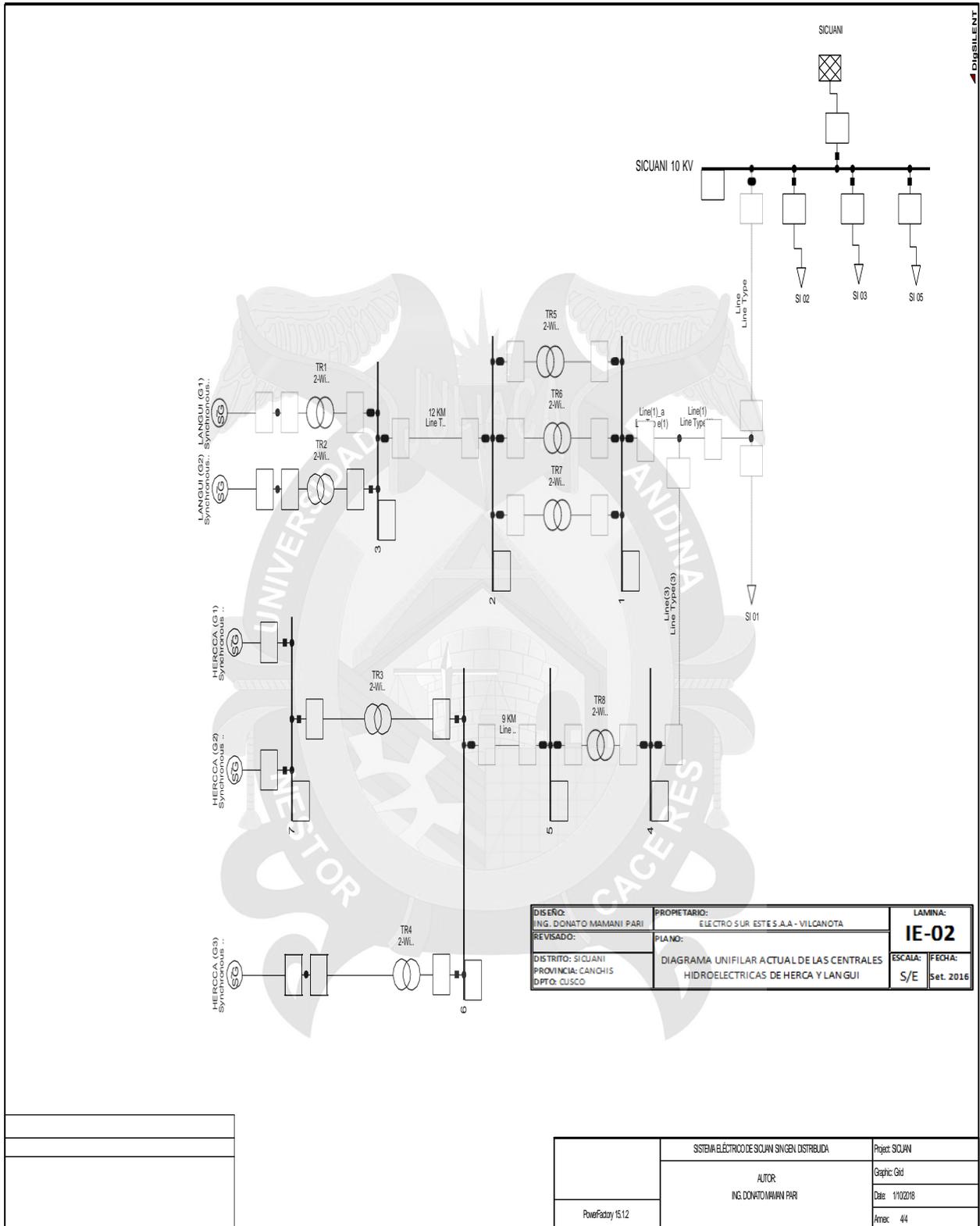
Power Factory 15.1.2)

La operación de los diferentes alimentadores del sistema eléctrico de Canchis se hace con el software **DIgSILENT Power Factory 15.1.2**, teniendo en consideración en las barras de carga como concentradas y los generadores como fuentes de potencia constantes.

Las simulaciones se realiza para los alimentadores: SI-01, SI-02, SI-03 y SI-05 y se muestran en las tablas 4.4 al 4.7

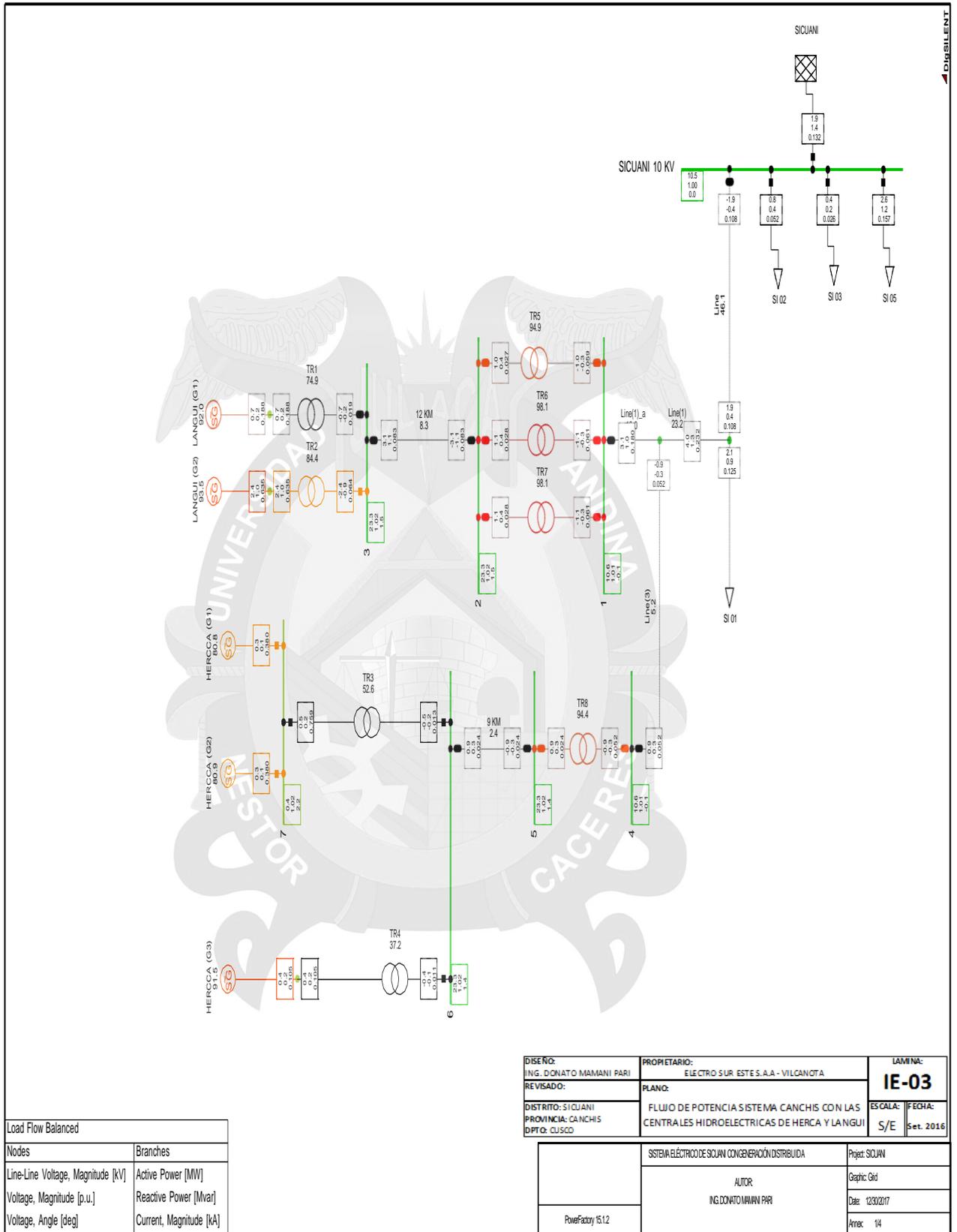


Figura 4.5 Diagrama Unifilar, software DlgSILENT Power Factory 15.1.2



Fuente: Elaboración propia

Figura: 4.6: Operación del Sistema Sicuani SI-01, año 2016 DigSILENT 15.1.2



Fuente: Elaboración Propia con el Digsilent

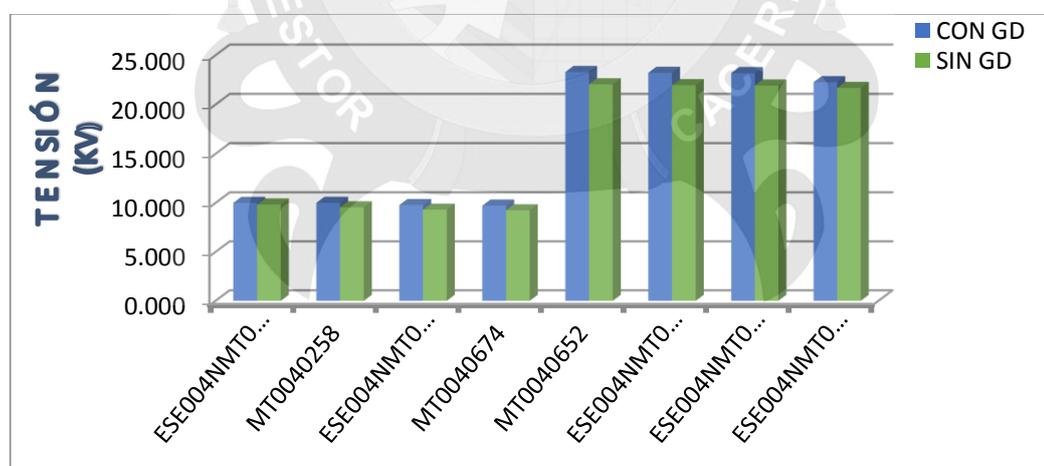
Tabla 4.4 Condiciones de Operación del Alimentador SI-01: Escenario de máxima demanda con y sin generación distribuida al año 2016

CON GENERACION DISTRIBUIDA						SIN GENERACION DISTRIBUIDA					
PERDIDAS						PERDIDAS					
P	P	Q	Q	P	Q	P	P	Q	Q	P	Q
Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen
MW	%	MVar	%	MW	MVar	MW	%	MVar	%	MW	MVar
0.103	8.576	-0.105	12.915	1.201	0.301	0.126	10.491	-0.071	8.864	1.201	0.329
TENSION						TENSION					
Tensión	Nodo			U	ΔV	Tensión	Nodo			U	ΔV
Nominal	Nombre			kV	%	Nominal	Nombre			kV	%
10 KV	ESE004NMT001344			10.003	- 0.034	10 KV	ESE004NMT001344			9.838	1.622
	MT0040258			10.013	- 0.133		MT0040258			9.546	4.544
10 KV	ESE004NMT001043			9.786	2.136	10 KV	ESE004NMT001043			9.308	6.917
10 KV	MT0040674			9.728	2.717	10 KV	MT0040674			9.247	7.532
10 KV	MT0040652			23.296	- 1.730	10 KV	MT0040652			22.052	3.702
22.9 KV	ESE004NMT000479			23.219	- 1.394	22.9 KV	ESE004NMT000479			21.962	4.097
22.9 KV	ESE004NMT000438			23.193	- 1.279	22.9 KV	ESE004NMT000438			21.931	4.233
22.9 KV	ESE004NMT000870			22.266	- 0.266	22.9 KV	ESE004NMT000870			21.678	5.337
CARGABILIDAD						CARGABILIDAD					
Línea	Cargab.	P	Factor de			Línea	Cargab.	P	Factor de		
Nombre	%	Pérdidas	Potencia			Nombre	%	Pérdidas	Potencia		
		kW	Cos Φ					kW	Cos Φ		
ESE004MT00085 (10KV)	10.945	0.110	0.898			ESE004MT00085 (10KV)	25.774	0.748	0.972		

ESE004MT01639 (10KV)	18.211	0.212	0.921	ESE004MT01639 (10KV)	18.446	0.208	0.981
ESE004MT01368 (10KV)	8.013	0.138	0.923	ESE004MT01368 (10KV)	8.375	0.151	0.924
ESE004MT00730 (10KV)	4.716	0.058	0.929	ESE004MT00730 (10KV)	4.938	0.063	0.930
ESE004MT00702 (22.9KV)	4.980	0.021	0.838	ESE004MT00702 (22.9KV)	5.099	0.022	0.874
ESE004MT01767 (22.9KV)	4.095	0.025	0.825	ESE004MT01767 (22.9KV)	4.210	0.027	0.859
ESE004MT00261 (22.9KV)	2.633	0.019	0.684	ESE004MT00261 (22.9KV)	2.710	0.019	0.709
ESE004MT00832 (22.9KV)	2.191	0.021	0.740	ESE004MT00832 (22.9KV)	2.284	0.023	0.755
CORRIENTE POR FASE				CORRIENTE POR FASE			
I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA		I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA	
0.005	0.007	0.008		0.079	0.071	0.066	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Perfiles de Tensión del Alimentador SI-01

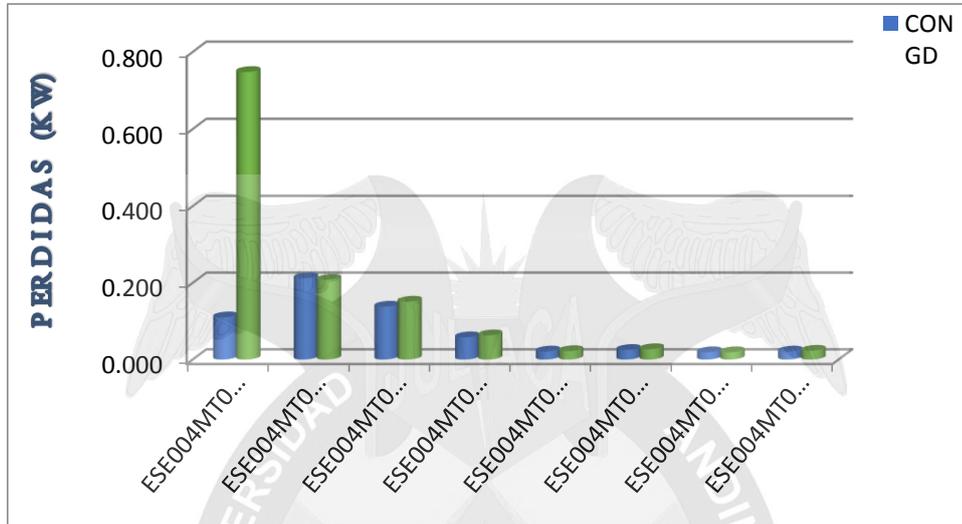


Fuente: Elaboración-Propia

Las barras considerados en la figura 4.7, son para los perfiles de tensión del alimentador SI-01, se consideran las tensiones nominales de 10 KV y 22.9 KV y

tomando puntos de la troncal del alimentador desde el inicio de la barra hasta el punto más alejado, el cual observamos que sin GD disminuye notoriamente la caída de tensión mientras con GD se incrementa tensión.

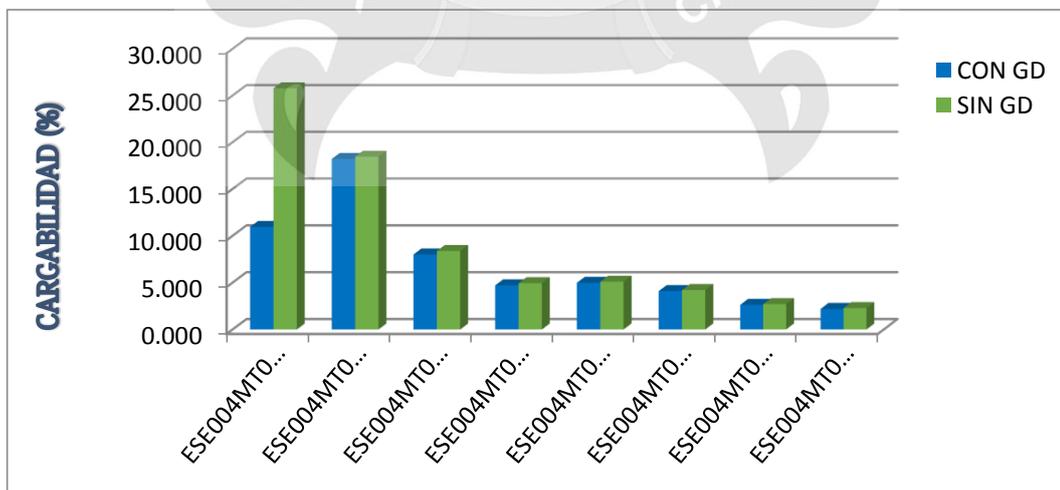
Figura 4.8 Pérdidas de Potencia del Alimentador SI-01



Fuente: Elaboración-Propia

La Figura 4.8 muestra los detalles del alimentador SI-01, las pérdidas de potencia en las líneas de media tensión sin GD se incrementan las pérdidas, mientras con GD presenta una disminución de las pérdidas de tensión, ya que gracias a la generación distribuida el flujo de la potencia hacia la carga disminuye.

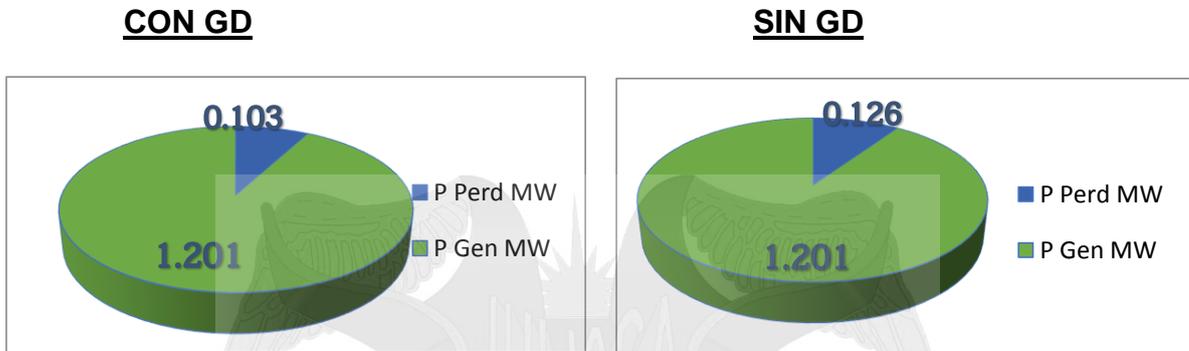
Figura 4.9 Cargabilidad del Alimentador SI-01



Fuente: Elaboración-Propia

En la Figura 4.9, se puede observar la cargabilidad del alimentador SI-01 disminuye con GD y sin GD se incrementa, debido a la incorporación de la GD libera capacidad en tramos de las líneas de media tensión.

Figura 4.10 Máxima Demanda y Pérdidas del Alimentador SI-01 con y sin GD



Fuente: Elaboración-Propia

En la figura 4.10, para los dos escenarios se tiene una demanda máxima de 1.201 MW, las pérdidas de potencia activa con GD alcanza un valor 0.103 MW que significa 8.576% a diferencia de las pérdidas sin GD es de 0.126 MW que significa 10.491% del total de la demanda de este alimentador, comparando valores con y sin GD obtenemos menores pérdidas de potencia con la incorporación de la GD distribuida.

Tabla 4.5 Condiciones de Operación del Alimentador SI-02

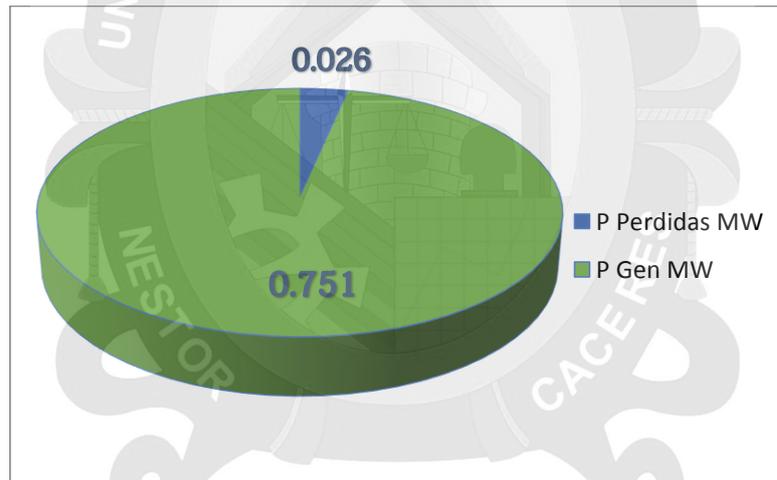
CON GENERACION DISTRIBUIDA						SIN GENERACION DISTRIBUIDA					
PERDIDAS						PERDIDAS					
P Pérdidas	P	Q	Q	P	Q	P Pérdidas	P	Q	Q	P	Q
MW	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen	MW	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen
	%	MVar	%	MW	MVar		%	MVar	%	MW	MVar
0.026	3.462	0.035	14.170	0.751	0.247	0.026	3.462	0.035	14.170	0.751	0.247
TENSION						TENSION					
Tensión Nominal	Nodo		U	ΔV		Tensión Nominal	Nodo		U	ΔV	
	Nombre		kV	%			Nombre		kV	%	
10 kV	MT0040006		9.962	0.384		10 kV	MT0040006		9.962	0.384	

ESE004NMT001453	9.914	0.862
ESE004NMT001465	9.899	0.862
ESE004NMT001472	9.878	1.217
ESE004NMT001473	9.874	1.255
ESE004NMT001478	9.867	1.332
CARGABILIDAD		
Línea	Cargab.	P
Nombre	%	Pérdidas kW
ESE004MT01202	19.423	0.830
ESE004MT00198	17.234	0.234
ESE004MT00065	21.834	0.047
ESE004MT00565	7.766	0.039
CORRIENTE POR FASE		
I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA
0.046	0.046	0.046

ESE004NMT001453	9.914	0.862
ESE004NMT001465	9.899	0.862
ESE004NMT001472	9.878	1.217
ESE004NMT001473	9.874	1.255
ESE004NMT001478	9.867	1.332
CARGABILIDAD		
Línea	Cargab.	P
Nombre	%	Pérdidas kW
ESE004MT01202	19.423	0.830
ESE004MT00198	17.234	0.234
ESE004MT00065	21.834	0.047
ESE004MT00565	7.766	0.039
CORRIENTE POR FASE		
I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA
0.046	0.046	0.046

Fuente: Elaboración-Propia

Figura 4.11. Máxima Demanda y Pérdidas del Alimentador SI-02



Fuente: Elaboración-Propia

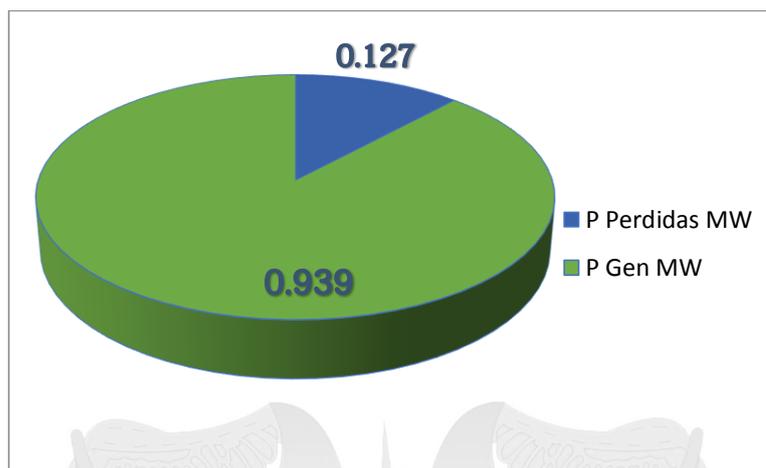
En la figura 4.11, puede observarse que para el alimentador SI-02 con y sin GD opera con una tensión nominal de 10.5 KV, demanda máxima de 0.751 MW y las pérdidas de 0.026 MW que significa 3.462% del total de demanda de este alimentador.

Tabla 4.6 Condiciones de Operación del Alimentador SI-03

CON GENERACION DISTRIBUIDA						SIN GENERACION DISTRIBUIDA					
PERDIDAS						PERDIDAS					
P Pérdidas	P	Q	Q	P	Q	P Pérdidas	P	Q	Q	P	Q
	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen		Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen
MW	%	MVar	%	MW	MVar	MW	%	MVar	%	MW	MVar
0.127	13.525	0.152	54.676	0.939	0.278	0.127	13.525	0.152	54.676	0.939	0.278
TENSION						TENSION					
Tensión	Nodo			U	ΔV	Tensión	Nodo			U	ΔV
Nominal	Nombre			kV	%	Nominal	Nombre			kV	%
10 kV	ESE004NMT006917			9.881	1.190	10 kV	ESE004NMT006917			9.881	1.190
	ESE004NMT006950			9.752	2.476		ESE004NMT006950			9.752	2.476
	MT0040047			9.658	3.421		MT0040047			9.658	3.421
	ESE004NMT001700			9.569	4.308		ESE004NMT001700			9.569	4.308
	ESE004NMT001675			9.460	5.366		ESE004NMT001675			9.460	5.366
	ESE004NMT007936			9.319	6.810		ESE004NMT007936			9.319	6.810
CARGABILIDAD				CARGABILIDAD							
Línea	Cargab.	P	Factor de	Línea	Cargab.	P	Factor de				
Nombre	%	Pérdidas	Potencia	Nombre	%	Pérdidas	Potencia				
		kW	Cos Φ			kW	Cos Φ				
ESE004MT01389	36.696	1.568	0.960	ESE004MT01389	36.696	1.568	0.960				
ESE004MT00726	20.894	0.058	0.965	ESE004MT00726	20.894	0.058	0.965				
ESE004MT00271	20.081	0.251	0.935	ESE004MT00271	20.081	0.251	0.935				
ESE004MT01374	0.864	0.007	0.872	ESE004MT01374	0.864	0.007	0.872				
CORRIENTE POR FASE			CORRIENTE POR FASE								
I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA	I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA						
0.079	0.046	0.045	0.079	0.046	0.045						

Fuente: Elaboración-Propia

Figura 4.12 Máxima Demanda y Pérdidas del Alimentador SI-03



Fuente: Elaboración-Propia

En la figura 4.12, se observa que el alimentador SI-03 con y sin GD opera con una tensión nominal de 10.5 KV, demanda máxima de 0.939 MW y las pérdidas de 0.127 MW que significa 13.525% del total de demanda de este alimentador.

Tabla 4.7 Condiciones de Operación del Alimentador SI-05

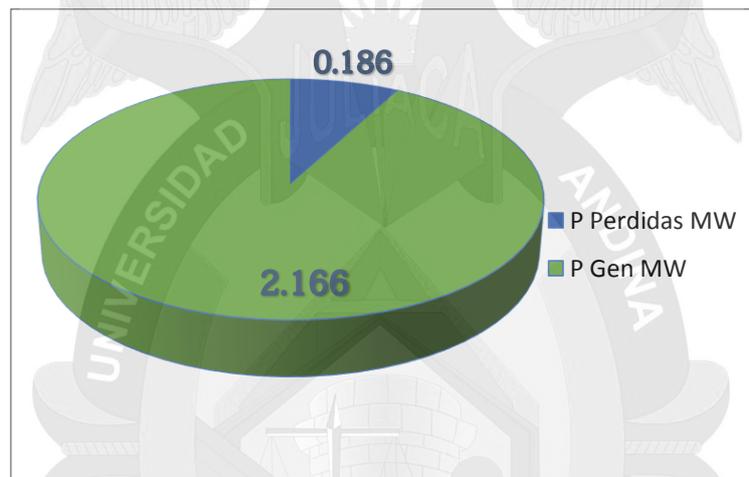
CON GENERACION DISTRIBUIDA						SIN GENERACION DISTRIBUIDA					
PÉRDIDAS						PÉRDIDAS					
P Pérdidas	P	Q	Q	P	Q	P Pérdidas	P	Q	Q	P	Q
MW	%	MVar	%	MW	MVar	MW	%	MVar	%	MW	MVar
0.186	8.587	0.203	20.588	2.166	0.986	0.186	8.587	0.203	20.588	2.166	0.986
TENSION						TENSION					
Tensión Nominal	Nodo		U	ΔV	Tensión Nominal	Nodo		U	ΔV		
	Nombre		kV	%		Nombre		kV	%		
10 kV	ESE004NMT007022		9.885	1.152	10 kV	ESE004NMT007022		9.885	1.152		
	ESE004NMT007030		9.792	2.083		ESE004NMT007030		9.792	2.083		
	ESE004NMT007075		9.578	4.224		ESE004NMT007075		9.578	4.224		
	MT0040012		9.451	5.493		MT0040012		9.451	5.493		
	ESE004NMT001798		9.389	6.112		ESE004NMT001798		9.389	6.112		
	ESE004NMT001901		9.366	6.341		ESE004NMT001901		9.366	6.341		
CARGABILIDAD						CARGABILIDAD					
Línea	Cargab.	P	Factor de	Línea	Cargab.	P	Factor de				
Nombre	%	Pérdidas	Potencia	Nombre	%	Pérdidas	Potencia				
		kW	Cos Φ			kW	Cos Φ				

ESE004MT01490	59.481	3.150	0.911
ESE004MT02115	65.079	3.449	0.912
ESE004MT00269	18.614	0.367	0.915
ESE004MT00125	6.152	0.030	0.918
CORRIENTE POR FASE			
I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA	
0.140	0.140	0.132	

ESE004MT01490	59.481	3.150	0.911
ESE004MT02115	65.079	3.449	0.912
ESE004MT00269	18.614	0.367	0.915
ESE004MT00125	6.152	0.030	0.918
CORRIENTE POR FASE			
I(LR)KA	I(LS)KA	I(LT)KA	
0.140	0.140	0.132	

Fuente: Elaboración-Propia

Figura 4.13 Máxima Demanda y Pérdidas del Alimentador SI-05



Fuente: Elaboración-Propia

La figura 4.13, muestra que el alimentador SI-05 con y sin GD opera con una tensión nominal de 10 KV, demanda máxima de 2.166 MW y las pérdidas de 0.186 MW que significa 8.587% del total de demanda de este alimentador

4.6. Efectos de la GD en un horizonte de operación al año 2016

Para este horizonte de estudio la demanda del sistema Canchis se ha incrementado, haciendo que la GD que se tiene inmerso en las redes, ya no sea suficiente para mejorar los parámetros de operación del sistema.

Tabla 4.8 Perdidas de potencia por alimentador del sistema canchis 2016

ALIMENT.	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA						SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA					
	P	P	Q	Q	P	Q	P	P	Q	Q	P	Q
	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	Gen	Gen
	MW	%	MVar	%	MW	MVar	MW	%	MVar	%	MW	MVar
SI-01	0.103	8.576	-0.105	12.915	1.201	0.301	0.126	10.491	-0.071	8.864	1.201	0.329
SI-02	0.026	3.462	0.035	14.170	0.751	0.247	0.026	3.462	0.035	14.170	0.751	0.247
SI-03	0.127	13.525	0.152	54.676	0.939	0.278	0.127	13.525	0.152	54.676	0.939	0.278
SI-05	0.186	8.587	0.203	20.588	2.166	0.986	0.186	8.587	0.203	20.588	2.166	0.986
TOTAL	0.442	8.740	-0.495	21.456	5.057	1.812	0.465	9.195	-0.461	20.035	5.057	1.840

Fuente: Elaboración-Propia

La tabla 4.8 muestra un análisis de los alimentadores de Sicuani, donde se tiene una demanda máxima total de 5.057 MW con y sin GD respectivamente, considerando las pequeñas centrales de generación de Hercca y Langui no llegan a cubrir la demanda máxima requerida.

La potencia distribuida en todo el sistema muestra la reducción del nivel de pérdidas de potencia activa, que con GD es 0.442 MW que equivale a 8.740% y la pérdida reactiva es -0.495 MVar que equivale a 21.456% en el caso de sin GD presenta un incremento de pérdidas activas que asciende a 0.465 MW que equivale 9.195% y la pérdida reactiva representa una disminución de -0.461MVar que equivale 20.035% estos valores se representan durante las horas punta de máxima demanda de los alimentadores, haciendo una comparación con y sin GD la diferencia de pérdidas activas sería de 0.02 MW de ahorro de compra de energía gracias a la incorporación de la generación distribuida.

Tabla 4.9 Tensiones críticas por alimentador del sistema canchis 2016

ALIMENT.	U.NOMINAL KV	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA			SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
		NODO NOMBRE	U KV	ΔV %	NODO NOMBRE	U KV	ΔV %
SI-01	10	MT0040674	9.728	2.717	MT0040674	9.247	7.532
SI-01	22.9	ESE004NMT000870	22.266	-0.266	ESE004NMT000870	21.678	5.337
SI-02	10	ESE004NMT001478	9.867	1.332	ESE004NMT001478	9.867	1.332
SI-03	10	ESE004NMT007936	9.319	6.810	ESE004NMT007936	9.319	6.810
SI-05	10	ESE004NMT001901	9.366	6.341	ESE004NMT001901	9.366	6.341

Fuente: Elaboración-Propia

En la Tabla 4.9, se determina las tensiones críticas y mínimas por nodos, de acuerdo al límite establecido en el Código Nacional de Electricidad y Suministro las caídas de tensión en zonas rurales no deben superar el $\pm 6\%$ del valor nominal y para el caso de zonas urbanas $\pm 3.5\%$ de su tensión nominal, los alimentadores críticos son SI-01 con tensión de 9.247 KV llegando hasta 7.532% (sin GD), SI-03 con tensión de 9.319 KV llegando hasta 6.810% y SI-05 con tensión de 9.366 KV llegando hasta 6.341% (con y sin GD) respectivamente, pasando los límites establecidos para la zona urbana y rural que se da por la norma (CNES y NTCSE), debido a las extensas longitudes de cada uno de los alimentadores y contribuyendo al crecimiento de las pérdidas en la red.

Tabla 4.10 Cargabilidad máxima por alimentador del sistema Canchis 2016

ALIMENT.	U.Nominal KV	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA				SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA			
		LÍNEA	Cargab. %	P Perd. KW	F d P Cos Φ	LÍNEA	Cargab. %	P Perd. KW	F d P Cos Φ
SI-01	10	ESE004MT01639	18.211	0.212	0.921	ESE004MT00085	25.774	0.748	0.972
SI-01	22.9	ESE004MT00702	4.980	0.021	0.838	ESE004MT00702	5.099	0.022	0.874
SI-02	10	ESE004MT00065	21.834	0.047	0.950	ESE004MT00065	21.834	0.047	0.950
SI-03	10	ESE004MT01389	36.696	1.568	0.960	ESE004MT01389	36.696	1.568	0.960
SI-05	10	ESE004MT02115	65.079	3.449	0.912	ESE004MT02115	65.079	3.449	0.912

Fuente: Elaboración-Propia

En la Tabla 4.10 se presenta los alimentadores que tienen mayor porcentaje de cargabilidad y pérdidas activas de todos los alimentadores de Canchis, obteniendo el valor más elevado en el alimentador SI-05 de 65.079% y 3.449 KV respectivamente dentro de la tensión nominal de 10.5 KV, igualmente en la tensión nominal de 22.9 KV.

El sistema de Canchis se presenta el aumento de la cargabilidad al inicio de la troncal de los alimentadores y transformadores, haciéndose dificultosa la ampliación de carga de la red, por consiguiente, se hace difícil poder llegar a los extremos de estos alimentadores con un suministro de buena calidad.

Tabla 4.11: Flujo de corrientes por alimentador del sistema canchis 2016

ALIMENT.	TENSIÓN KV	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA			SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
		CORRIENTE POR FASE (KA)			CORRIENTE POR FASE (KA)		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
SI-01	10	0.005	0.007	0.008	0.079	0.071	0.066
SI-02	10	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046
SI-03	10	0.079	0.046	0.045	0.079	0.046	0.045
SI-05	10	0.140	0.140	0.132	0.140	0.140	0.132

Fuente: Elaboración-Propia

En la Tabla 4.11, se presenta el flujo de las corrientes por alimentador, donde el alimentador SI-02 presentan un flujo de corriente balanceado en sus fases RST, estos se encuentran en zona urbana y rural; mientras los otros alimentadores presentan lo contrario con flujos desbalanceados en sus fases, originando incremento de pérdidas de potencia respectivamente.

Alternativas de Solución para los Horizontes de Operación al año 2016

Considerando el crecimiento ascendente de la demanda del sistema Sicuani como se puede observar en la Tabla 6.1 y las condiciones de operación para el año 2016, se plantea una solución compatible, mediante la repotenciación de la Pequeña y Mediana Central Hidroeléctrica de Hercca y Langui respectivamente, el cambio de Subestación de transformación Puente Arturo IV y la incorporación de las líneas eléctricas de interconexión.

1. Repotenciación de la Pequeña Central Hidroeléctrica de Hercca II

El proyecto de Repotenciación de la Pequeña Central Hidroeléctrica de Hercca se ubica en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco, Perú.

El proyecto de Repotenciación de la Pequeña Central Hidroeléctrica de Hercca se ubica en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco, Perú.

Consiste en la ejecución de las obras civiles y el suministro y montaje del equipamiento electromecánico de generación, transformación y equipamiento de control para una pequeña central hidroeléctrica de 4.440 MW de potencia instalada así como su interconexión al sistema eléctrico mediante dos líneas de transmisión. El montaje de la línea de subtransmisión en 22.9 kV que interconecta la pequeña central Hercca con la S.E. Puente Arturo.

- **Especificaciones del nuevo grupo generador**

Altitud de la instalación

3661.60 msnm



Caída bruta máxima	96.46 m
Caída neta máxima	94.20 m
Caída neta mínima de operación	93.0m
Caudal nominal	4 m ³ /s
Caudal máximo	4 m ³ /s
Número de grupos	1
Tipo de turbina	Francis de eje horizontal
Velocidad de rotación propuesta	720 rpm
Potencia de generación	3.42 MW
Capacidad de generación	4.20 MVA

1. Repotenciación de la Mediana Central Hidroeléctrica de Langui II

La empresa Mediana Central Hidroeléctrica de Langui II S.A. es propietaria privada, ubicada en el distrito de Sicuani, provincia de Canas, Departamento Cusco.

El proyecto de ampliación de la Mediana central Hidroeléctrica Langui II, consiste en la ejecución de las obras ampliación de la captación y conducción de agua, la provisión de equipamiento para una nueva unidad de generación y las instalaciones de conexión a la red de Electro Sur Este S.A.A.

Las obras de captación y conducción comprenden la ampliación de la toma de fondo ubicada en el río Hercca, a una elevación de 3927.27 msnm, hasta un caudal promedio de diseño de $Q= 6.30 \text{ m}^3/\text{seg.}$; la ampliación de la capacidad del canal de aducción para conducción de las aguas captadas hasta la cámara



de carga; la modificación de dos desarenadores para darles un funcionamiento hidráulico más efectivo, la ampliación de la cámara de carga, el desmantelamiento de la tubería forzada que alimenta la unidad I, por su obsolescencia y reemplazo de ésta por una tubería forzada nueva que alimentará la unidad I existente y la nueva unidad III; la ampliación de la casa de máquinas para alojar a la nueva unidad III.

El equipamiento de generación comprende una unidad tipo Francis, con una capacidad de 2.932 MW en bornes de generador, equipos auxiliares, transformador elevador y otras instalaciones de la casa de máquinas.

Entre la central y la subestación existente de Puente Arturo IV se construirá una nueva línea de transmisión de 11.5 km y 22.9 kV de tensión y en la subestación de Puente Arturo IV se adecuará la subestación a este nivel de tensión, para una salida de 66 KV que se conectara con la líneas Combapata – Sicuani.

2. Ampliación de la Subestación 22.9/66 kV Puente Arturo IV

La ampliación estará ubicada en el sector aledaño a la ubicación de la subestación existente, para lo cual se independizara la llegada de la línea Pequeña C.H. de Langui con su transformador 22.9/10.5 KV para la salida de SI-01, y se construirá todo un nuevo patio de llaves y sala de control. Anteriormente la S.E Puente Arturo IV las especificaciones eran las siguientes 2 MVA de 10.5/22.9 KV y ahora contará con un transformador trifásico de 22,9/66 KV de 10 MVA y sus respectivos equipos de maniobras.

La configuración del equipamiento eléctrico será de una barra de llegada de 22,9 KV y barra de salida de 66 kV, con sus respectivas celdas de Líneas y su conexión a la línea de transmisión existente Combapata – Sicuani.

3. Líneas Eléctricas de Interconexión

El suministro comprenderá la interconexión de la Pequeña C.H. Hercca II y la Mediana C.H langui II hasta la Subestación Puente Arturo IV y de ahí al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Para tal fin se implementara la Línea de Transmisión Central Hidroeléctrica de Hercca y Langui – punto de Interconexión, de aproximadamente 16.59 km de longitud.

TRAMO: Línea de Transmisión 22.9 kV C.H. Hercca y Langui hasta Puente Arturo IV de 9 y 12 km de longitud, clase de conductor de AAAC 120 y 150 mm² respectivamente, consistente en la renovación de la línea existente mediante postes de concreto y nuevos conductores

Tabla 4. 12: Considerando la repotenciación de la pequeña y mediana central hidroeléctrica de hercca y langui al año 2016 con generación distribuida

CON GENERACION DISTRIBUIDA							
PERDIDAS							
Pérdidas P	Pérdidas P	Pérdidas Q	Pérdidas Q	P Generación	Q Generación	P Carga	Q Carga
MW	%	MVar	%	MW	MVar	MW	MVar
0.020	0.177	-0.178	36.475	11.281	0.066	11.261	0.244

Fuente: Elaboración-Propia

Tabla 4.13 Considerando la repotenciación de la pequeña y mediana central hidroeléctrica de hercca y langui al año 2016 sin generación distribuida (SEIN)

SIN GENERACION DISTRIBUIDA (SEIN)							
PERDIDAS							
Pérdidas P	Pérdidas P	Pérdidas Q	Pérdidas Q	P Generación	Q Generación	P Carga	Q Carga
MW	%	MVar	%	MW	MVar	MW	MVar
0.124	1.089	1.031	40.447	11.385	1.274	11.261	0.244

Fuente: Elaboración-Propia

Las Tabla 4.12 y 4.13 presentan las pérdidas y máxima demanda para el año 2016 que no llega a cubrir con las pequeñas centrales hidroeléctricas de Hercca y Langui, es necesario la repotenciación de dichas Centrales Hidroeléctricas para cubrir la demanda máxima de los alimentadores de Sicuani , llegando a cubrir en su totalidad con la generación Distribuída pero con el SEIN ocurre lo contrario puesto que la subestación de Combapata ya no soporta la demanda proyectada para este horizonte del 2016, podemos decir que gracias a la incorporación de la generación distribuida disminuye notoriamente las perdidas en toda la red del sistema canchis.

Índice de Interrupciones del Sistema Eléctrico Sicuani

Teniendo los datos estadísticos del año 2016, obtenidos de la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A., se tiene los siguientes cuadros donde se muestran los índices de interrupción SAIFI y SAIDI del sistema eléctrico Sicuani, separados de acuerdo al sector típico que presentan cada uno de los alimentadores, donde se puede observar la diferencia que existe, cuando opera con GD y sin GD.

Tabla 4.14 Sistema eléctrico de Sicuani con sus respectivos sectores típicos

SISTEMA ELECTRICO	LOCALIDAD	ALIMENTADORES	SECTOR TIPICO	COD DEL SISTEMA
SICUANI	Sicuani	SI-02, SI-05	3	SE0244
SICUANI	Sicuani rural	SI-01, SI-03	5	SE4242

Fuente: Electro Sur Este S.A.A - Área del Control de Calidad

La Tabla 4.14 muestra cómo están distribuidos los alimentadores de Sicuani, conformado por las localidades, sectores típicos y el código del sistema en cual están asignados para los cálculos SAIFI Y SAIDI.

Tabla 4.15. Índice de interrupciones con generación distribuida (sector típico 3)

ALIMENT.	SAIFI	SAIDI	MES	AÑO
SI-02,SI-05	4.352	2.645	Enero	2016
SI-02,SI-05	1.687	0.455	Febrero	2016
SI-02,SI-05	2.008	1.323	Marzo	2016
SI-02,SI-05	1.238	3.026	Abril	2016
SI-02,SI-05	0.653	0.705	Mayo	2016
SI-02,SI-05	0.324	1.032	Junio	2016
SI-02,SI-05	0.523	0.721	Julio	2016
SI-02,SI-05	0.982	0.624	Agosto	2016
SI-02,SI-05	3.345	7.136	Setiembre	2016
SI-02,SI-05	5.236	5.678	Octubre	2016
SI-02,SI-05	1.562	1.893	Noviembre	2016
SI-02,SI-05	1.159	0.657	Diciembre	2016

Fuente: Electro Sur Este S.A.A - Área de Control de calidad

Tabla 4.16 Índice de interrupciones sin generación distribuida (sector típico 3)

ALIMENT.	SAIFI	SAIDI	MES	AÑO
SI-02,SI-05	6.287	4.101	Enero	2016
SI-02,SI-05	2.495	0.714	Febrero	2016
SI-02,SI-05	3.085	2.148	Marzo	2016

SI-02,SI-05	2.198	5.427	Abril	2016
SI-02,SI-05	0.536	1.250	Mayo	2016
SI-02,SI-05	0.000	0.000	Junio	2016
SI-02,SI-05	0.830	0.648	Julio	2016
SI-02,SI-05	1.509	0.868	Agosto	2016
SI-02,SI-05	5.267	9.561	Setiembre	2016
SI-02,SI-05	7.559	7.329	Octubre	2016
SI-02,SI-05	2.264	2.175	Noviembre	2016
SI-02,SI-05	1.859	1.128	Diciembre	2016

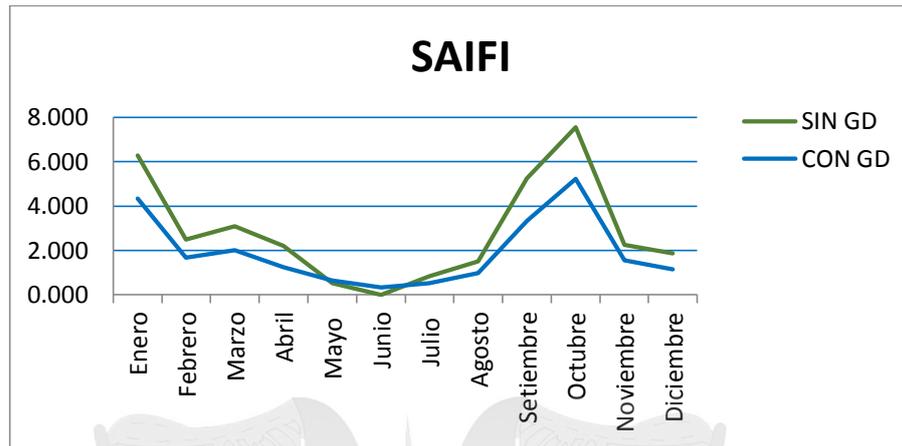
Fuente: Electro Sur Este S.A.A - Área Control de calidad

Las Tablas 4.15 y 4.16 muestran los datos de SAIFI de dichos alimentadores y en el sector típico 3, se obtuvieron los siguientes resultados, con GD el valor es de 5.236 y sin GD su valor se incrementa a 7.559 haciendo la comparación con y sin GD la diferencia es de 2.323 lo que indica que con la incorporación de GD disminuye las interrupciones de saifi disminuyen.

De manera similar ocurre con los datos de SAIDI en las Tablas 6.15 y 6.16 se tiene con GD el valor de 7.136 y sin GD es de 9.561 la diferencia de estos dos valores es de 2.425, entonces la incorporación de la GD es un gran aporte para la disminución de las interrupciones.

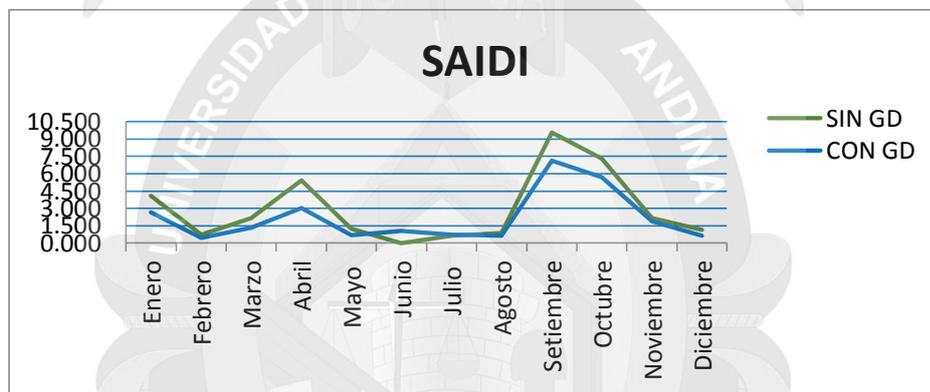
Considerando los datos con y sin GD de los valores de SAIFI y SAIDI, se se obtiene las gráficas respectivas que afirma que la incorporación de la GD mejora la confiabilidad del sistema de distribución Sicuani.

Figura 4.14 Saifi sistema Sicuani con y sin generación distribuida 2016



Fuente: Elaboración-Propia

Figura 4.15 Saiddi sistema Sicuani con y sin generación distribuida 2016



Fuente: Elaboración-Propia

En las Figuras 4.14 y 4.15 se pueden observar como disminuye los índices de SAIFI y SAIDI con GD , entonces es un gran aporte de la GD que incide en la disminución de cortes y salidas de los alimentadores.



CAPÍTULO V

PERFIL DE UN MODELO DE REDES INTELIGENTES PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

5.1. Introducción

El este capítulo se propone un perfil de modelo de una red de distribución inteligente para monitoreo a través de una automatización para los diferentes alimentadores de Sicuani en general, en particular SI-01 que cuenta con generación distribuida ante fallas externas con indicadores de SAIFI Y SAIDI, para la mejor operación del sistema, con seguridad y calidad del suministro eléctrico con una proyección futurista, donde el sector industrial, comercial y usuarios regulados son más exigentes.

5.2. Calidad de suministro

Para el análisis del presente estudio se toma en cuenta la norma Peruana, de la "Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)" en el ítem de calidad de energía eléctrica, contempla cuatro aspectos que son: Calidad de producto, de suministro, calidad comercial calidad de alumbrado público.

Para el presente estudio, se toma en cuenta: "La Calidad de Suministro se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, expresado por el número de interrupciones del servicio".

5.2.1 Indicadores de calidad de suministro

La Directiva de OSINGERMIN, Procedimiento 10-2014-OS/CD (2014):

Establece: "*La Calidad de Suministro se evalúa en Periodos de Control de seis meses*", utilizando los dos indicadores que son las siguientes:

a. Número Total de Interrupciones por Semestre (N)

Se define como el número total de interrupciones en el suministro a cada Cliente durante un período de control de un semestre

$$N = \text{Número de interrupciones [interrupciones/semestre]}$$

El número de interrupciones programadas* por expansión o reforzamiento de redes que deben incluirse en el cálculo de este indicador, se ponderan por un factor de cincuenta por ciento (50 %).

b. Duración Total de Interrupciones por Cliente (D)

Se define como la sumatoria de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones en el suministro eléctrico al cliente durante un período de 6 meses de acuerdo a la norma. Cuya ecuación matemática es:

$$D = \sum_{i=1}^N K_i \cdot d_i \quad [\text{Expresado en horas}]$$

Dónde:

d_i : Es la duración individual de la interrupción i .

K_i : Son factores de ponderación de la duración de las interrupciones por tipo:

- Interrupciones programadas por expansión o reforzamiento : $K_i = 0,25$

- Interrupciones programadas por mantenimiento : $K_i = 0;50$
- Otras : $K_i = 1;00$

El término "Interrupciones programadas" se refiere exclusivamente a actividades de expansión o reforzamiento de redes; o, mantenimiento de redes, ambas programadas oportunamente, sustentadas ante la Autoridad y notificadas a los clientes con una anticipación mínima de cuarenta y ocho (48) horas, señalando horas exactas de inicio y culminación de trabajos.

c. Tolerancias

Las tolerancias en los indicadores de Calidad de Suministro para Clientes conectados en distinto nivel de tensión son:

Número de Interrupciones por Cliente (N)

- Clientes en Muy Alta y Alta Tensión : 02 Interrupciones/semestre
- Clientes en Media Tensión : 04 Interrupciones/semestre
- Clientes en Baja Tensión : 06 Interrupciones/semestre

Duración Total Ponderada de Interrupciones por Cliente (D)

- Clientes en Muy Alta y Alta Tensión : 04 horas/semestre
- Clientes en Media Tensión : 07 horas/semestre
- Clientes en Baja Tensión : 10 horas/semestre

5.3.- EVALUACIÓN DE INTERRUPCIONES DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO EN LA REGIÓN CUSCO

45% de SAIFI y 52 % de SAIDI por causas propias (mantenimientos y reforzamientos, fallas equipos y falta mantenimiento de componentes y servidumbres, entre otras causas).

16% de SAIFI y 17% de SAIDI es debido a terceros (Hurtos de conductores, contactos accidentales, caídas de árboles, vandalismos, entre otras causas originadas por terceros)

19% de SAIFI y 14% de SAIDI es por fenómenos naturales (descargas atmosféricas, fuertes vientos, entre otras causas climatológicas adversas)

20% de SAIFI y 17% SAIDI por Otras Empresas Eléctricas (mantenimientos, déficit de generación, fallas SEIN, entre otras causas originadas en OEE)

Procedimiento para minimizar las interrupciones de suministro

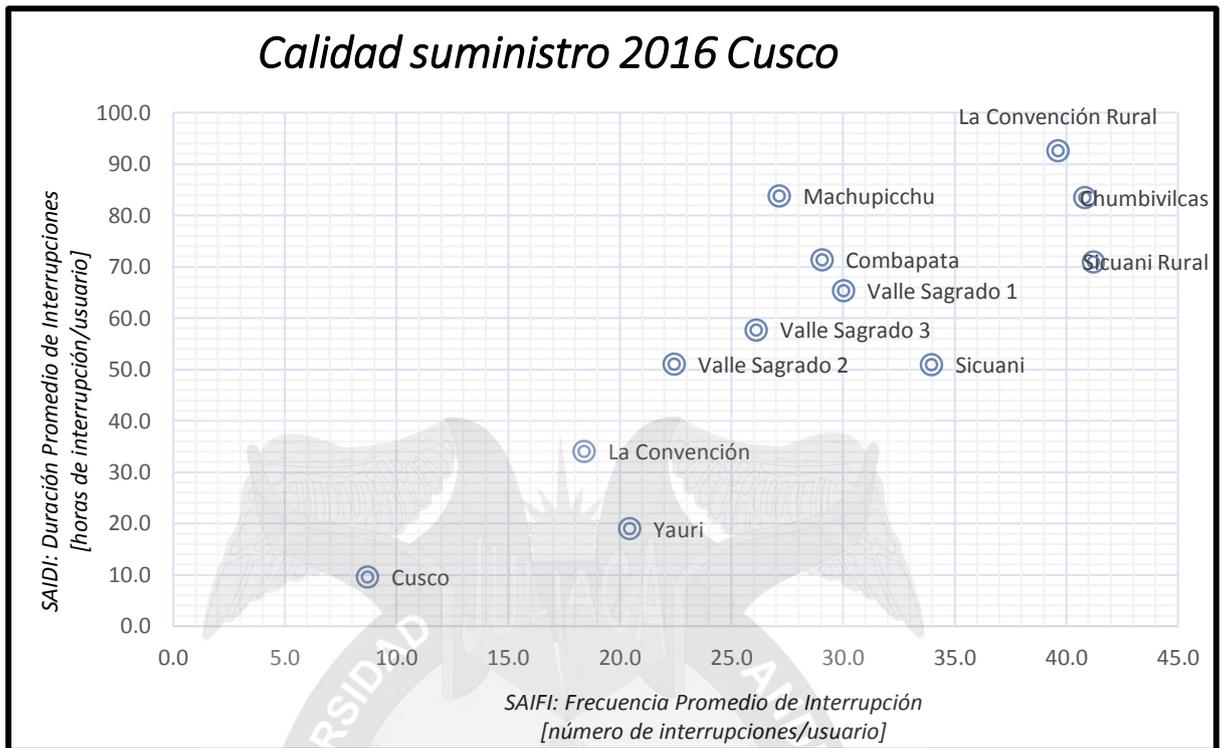
1. Evaluar el comportamiento operativo de las redes eléctricas.
2. Tener una información actualizada en línea del GIS: (Ubicación, aislamiento, restauración)
3. Preparar un plan estratégico de las contingencias no previstas en la operación de la red.

Tabla 5.1. Límite de interrupciones

Límite de interrupciones		
ST(sector típico)	SAIFI: Frecuencia Promedio de Interrupción [número de interrupciones/usuario]	SAIDI: Duración Promedio de Interrupciones [horas de interrupción/usuario]
2	5	9
3	7	12
4	12	24
5	16	40
6	16	40

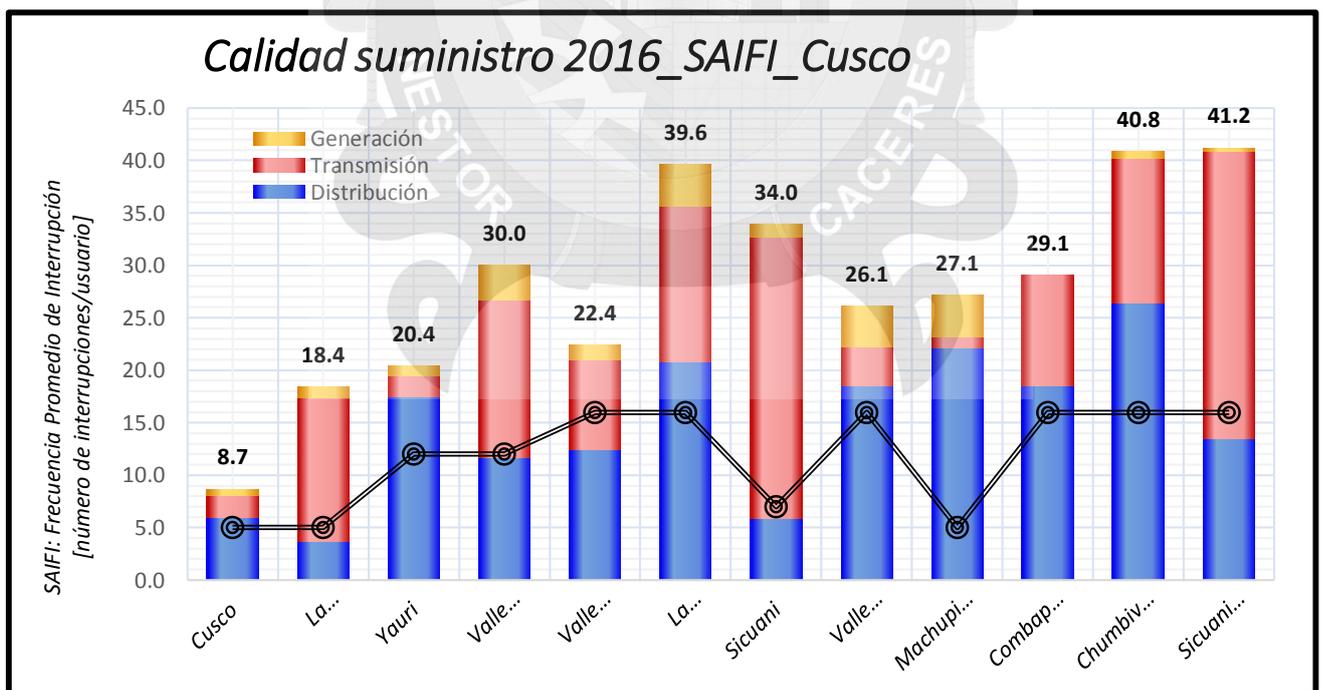
Fuente: Norma de calidad de servicios eléctricos-DGE- Osinermin

Figura: 5.1. Calidad de suministro 2016 Cusco



Fuente: Osinergrin

Figura 5.2. Calidad suministro 2016_SAIFI_Cusco



Fuente: Osinergrin

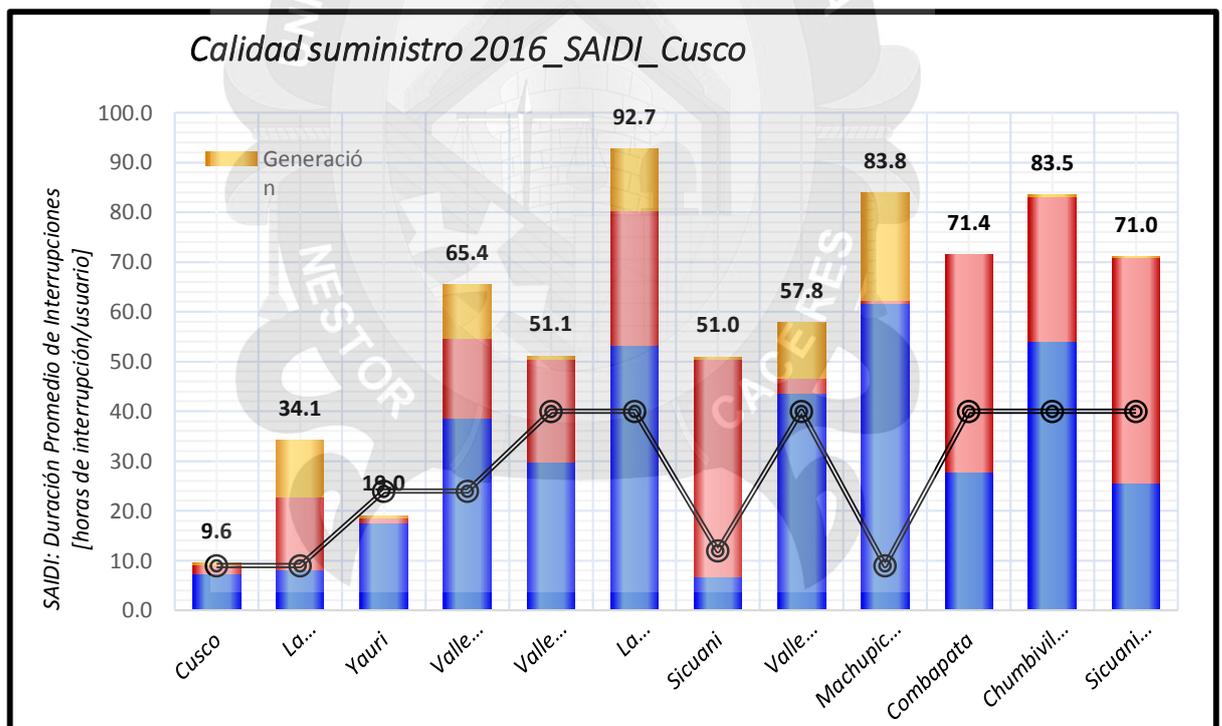
Tabla 5.2. Resumen de SAIFI

SISTEMA ELECTRICO		Sector típico	Resumen indice SAIFI			
			2013	2014	2015	2016
Cusco	SE0032	2	7.73	6.02	5.95	5.06
Iberia	SE0033	5	37.10	91.06	96.01	71.18
Pto Maldonado	SE0034	2	19.79	11.74	11.17	11.17
Abancay	SE0035	2	14.03	23.25	12.63	7.29
La Convención	SE0036	2	15.72	14.49	9.23	4.99
Yauri	SE0038	4	38.53	63.43	37.00	28.26
Iñapari	SE0039	3	70.19	5.40	8.04	77.23
Valle Sagrado 1	SE0040	4	13.95	22.89	15.76	12.27
Valle Sagrado 2	SE0041	5	10.59	10.35	12.05	11.03
Andahuaylas	SE0042	4	26.83	20.72	14.66	11.82
Abancay Rural	SE0241	6	97.35	72.46	31.81	32.63
La Convención Rural	SE0243	5	29.53	34.19	28.96	37.49
Sicuani	SE0244	3	6.78	2.73	15.85	5.33
Valle Sagrado 3	SE0245	6	28.15	53.96	32.00	21.07
Pto Maldonado Rural	SE1034	4	82.22	85.63	85.75	32.61
Machupicchu	SE1036	2	6.95	10.36	13.94	17.87
Chacapunte	SE1042	6	40.50	50.95	26.03	21.77

Combapata	SE1242	5	26.20	50.87	28.28	29.11
Mazuko	SE2034	3	42.42	43.90	19.68	27.54
Chuquibambilla	SE2042	6	49.79	83.69	41.13	29.28
Chumbivilcas	SE3242	5	91.80	82.10	70.45	61.10
Sicuani Rural	SE4242	6	28.01	23.85	34.28	8.91
ELSE			24.46	27.34	20.22	16.50

Fuente: Osinergmin

Figura 5.3. Calidad suministro 2016_SAIIDI_Cusco



Fuente: Osinergmin



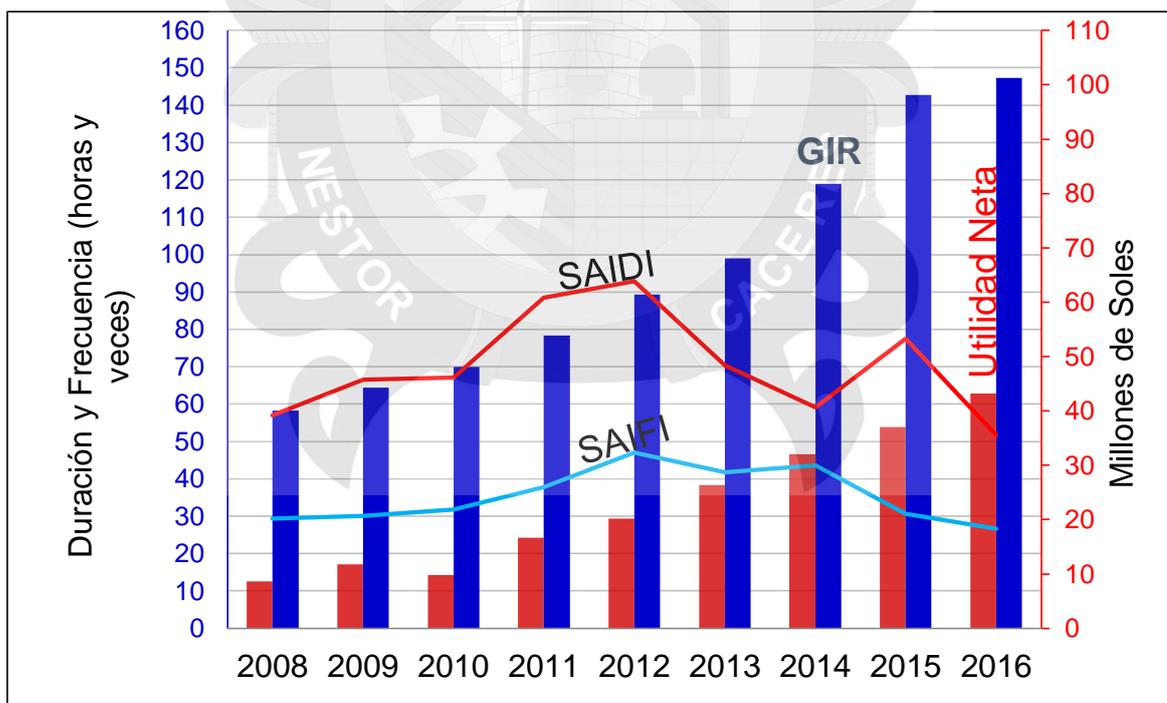
Tabla 5.3. Resumen de SAIDI

SISTEMA ELECTRICO		Resumen indice SAIDI			
		2013	2014	2015	2016
Cusco	SE0032	13.34	8.48	7.35	7.98
Iberia	SE0033	92.25	87.93	47.49	37.14
Pto Maldonado	SE0034	24.29	9.73	12.48	17.00
Abancay	SE0035	16.85	36.53	20.79	7.36
La Convención	SE0036	24.84	30.43	13.25	6.08
Yauri	SE0038	115.43	114.54	117.71	33.97
Iñapari	SE0039	104.58	4.13	22.64	47.24
Valle Sagrado 1	SE0040	28.11	28.93	26.02	22.12
Valle Sagrado 2	SE0041	37.54	33.97	37.77	45.75
Andahuaylas	SE0042	32.67	34.14	19.73	27.04
Abancay Rural	SE0241	161.82	63.67	56.83	72.91
La Convención Rural	SE0243	63.82	60.35	68.20	77.39
Sicuani	SE0244	6.48	7.69	39.71	3.12
Valle Sagrado 3	SE0245	43.81	63.99	56.79	43.28
Pto Maldonado Rural	SE1034	123.57	126.90	325.46	75.78
Machupicchu	SE1036	16.35	59.60	35.56	112.14

Chacapunte	SE1042	48.24	71.32	115.80	63.38
Combapata	SE1242	33.83	49.39	40.53	33.39
Mazuko	SE2034	57.55	48.29	38.17	82.75
Chuquibambilla	SE2042	174.23	115.11	99.27	101.24
Chumbivilcas	SE3242	297.22	138.17	149.62	70.99
Sicuani Rural	SE4242	36.14	40.13	66.81	16.70
ELSE		46.49	39.50	38.27	30.89

Fuente: Osinergmin

Figura 5.4. Empresa Típica De Distribución De Saifi Y Saidi



Fuente: Osinergmin y FONAFE (2016)



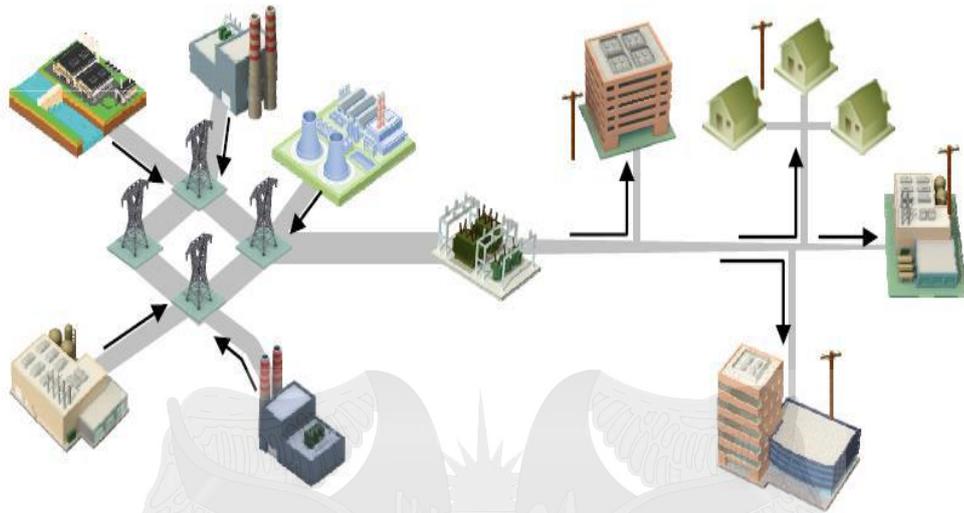
5.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS ACTUALES EN MT

Sayas Poma (Julio 2013), FORO REGIONAL:

Caracteriza a las redes actuales como:

- Redes de distribución radiales en MT.
- Flujo de potencia unidireccional desde los centros de generación hasta el usuario final.
- Operan con relés electromecánicos o digitales, con escasa comunicación, cuyos ajustes son realizados manualmenmte.
- Recorren longitudes largas hasta 200 kms, con alta posibilidad de falla transitoria.
- Protección en todo el alimentador con Seccionadores fusibles tipo CUT-OUT seleccionados a priori
- Recierres de circuito frente a fallas, degrada el sistema de aislamiento.
- No existe Telecontrol en las redes de MT, pero tienen instalados el sistema SCADA con existencia precaria de automatización en las Subestaciones de distribución, y en el resto del circuito no existe el control de demanda para el usuario final.
- Las maniobras de seccionamiento son realizados manualmente por el personal encargado de mantenimiento de las redes de MT y BT.

Figura 5.5. La Red: hoy



Fuente: EPRI, SG CostBenefit, 2011

5.5. Un nuevo modelo conceptual centrado en el cliente

Las redes eléctricas de Media Tensión a futuro, traerá un **cambio de modelo topológico** (paradigma), focalizado en la gestión de oferta y demanda eléctrica en el usuario final, se observa en la Fig. 5.5

Figura: 5.6. Un nuevo modelo de Smart Grid centrado en el cliente

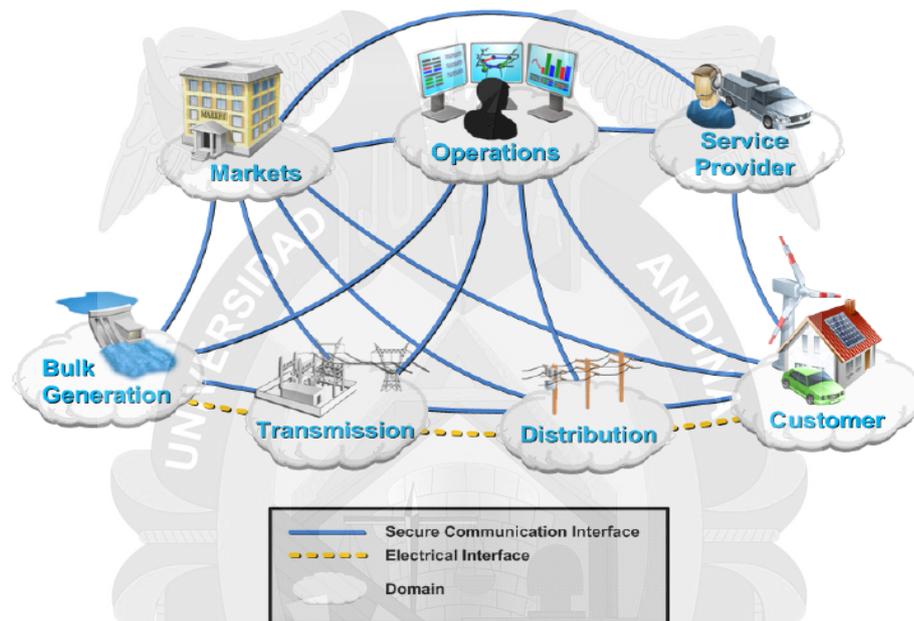


Fuente: EPRI, SG CostBenefit, 2011

5.6. ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE UNA RED INTELIGENTE

Las **conexiones eléctricas como de comunicación** representan un intercambio de información entre dos dominios y los actores a su interior, por lo que no son conexiones físicas, sino lógicas. Cada una puede ser **bidireccional**

Figura: 5.7. Imagen: nivel superior del modelo conceptual.



Fuente: Reporte de NIST. (National Institute of Standards and Technology)

La descripción de la Figura 5.7, podemos sintetizar en la tabla: 5.4, donde se muestran los actores intervinientes del nuevo modelo conceptual, mostrando el dominio y los actores que intervienen en la clasificación por zonas y dominios, cumpliendo con los objetivos de un sistema eléctrico desde la generación hasta el usuario final para satisfacer la energía eléctrica con calidad de servicio, aprovechando los recursos energéticos renovables con Generación distribuida.

Por otro lado se puede comentar adicionalmente que una red inteligente integra todas las acciones de los usuarios conectados a ella como son: generadores, consumidores, productores y consumidores.

Tabla 7.4. Actores intervinientes en el nuevo modelo

Dominio	Actores en dicho dominio
1. Consumidores	Usuarios finales de electricidad. También pueden generar, almacenar y manejar el uso de la energía. Tradicionalmente son de tres tipos: doméstico, comerciales, e industriales
2. Mercados	Los operadores y participantes del mercado eléctrico.
3. Proveedores del servicio	Organizaciones que proveen servicios a los usuarios de electricidad y empresas eléctricas.
4. Operaciones	Quienes manejan el movimiento de electricidad.
5. Generación a gran escala	Los generadores de electricidad a gran escala. También pueden almacenar energía para su distribución posterior.
6. Transmisión	Los que conducen la electricidad a gran escala en grandes distancias. También pueden almacenarla y generarla.
7. Distribución	Los que distribuyen electricidad para y desde los usuarios. También pueden almacenarla y generarla.

Fuente: Adaptado de IEEE power & energy magazine, Hassan Farhangi, enero 2010

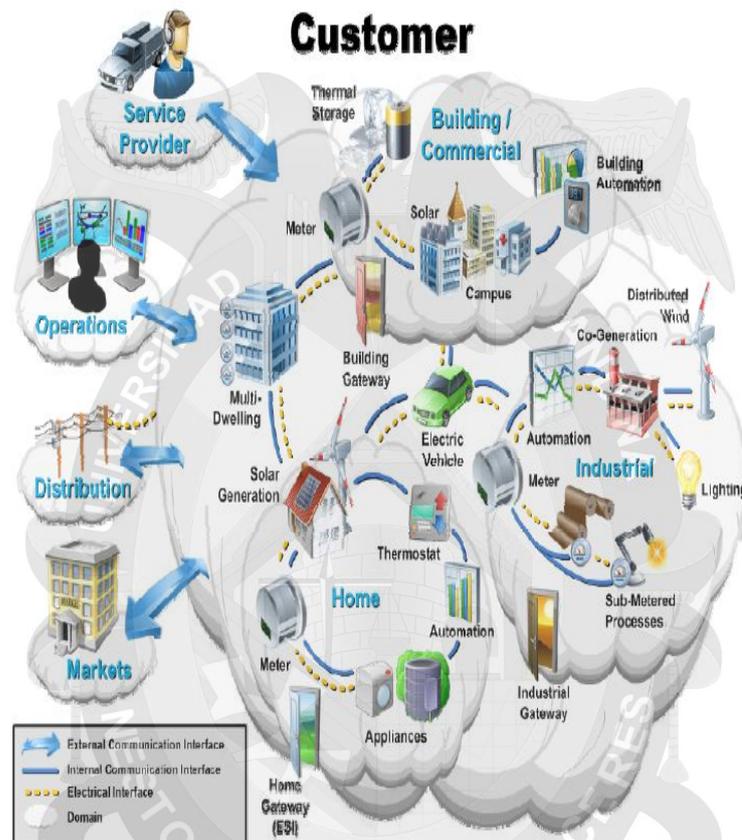
A continuación se presenta las definiciones de un nuevo modelo mostrando el dominio y los actores intervinientes que integran en la operación de un sistema eléctrico a futuro.

1. Los Consumidores

Los consumidores pueden tener dispositivos de generación, tienen conocimiento online de los precios y disponen de dispositivos inteligentes o automatizados para la gestión del consumo. Pueden ser consumidores individuales, comerciales o industriales. El uso de vehículo eléctrico es considerado como un

elemento de demanda en las redes. Los consumidores pueden realizar importantes inyecciones de energía a la red y en tal caso su relación con el operador del sistema y el comportamiento del mercado puede ser importante.

Figura 5.8. Dominio de los consumidores

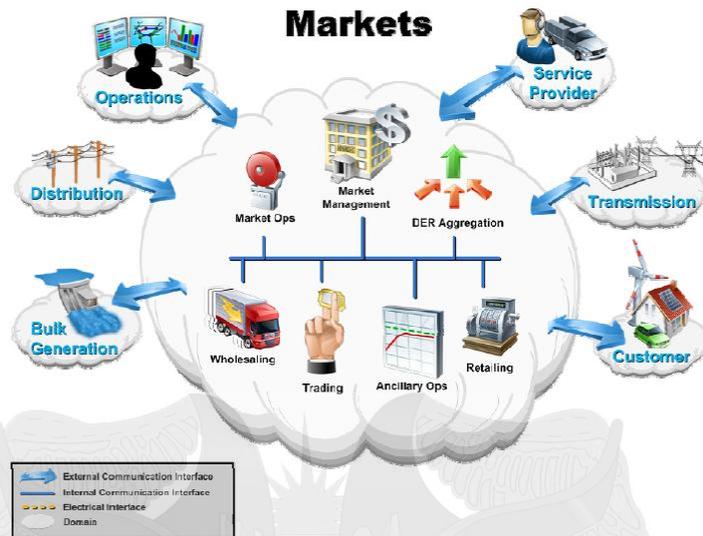


Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

2. Los Mercados

Los mercados que pueden ser competitivos u organizados bajo un despacho centralizado con un conjunto de centrales distribuidas en un ambiente geográfico, registran consumos de energía que deben ser comunicados a los diferentes actores del sistema eléctrico en particular a los generadores y operadores del sistema.

FIGURA 5.9. Dominio de los mercados

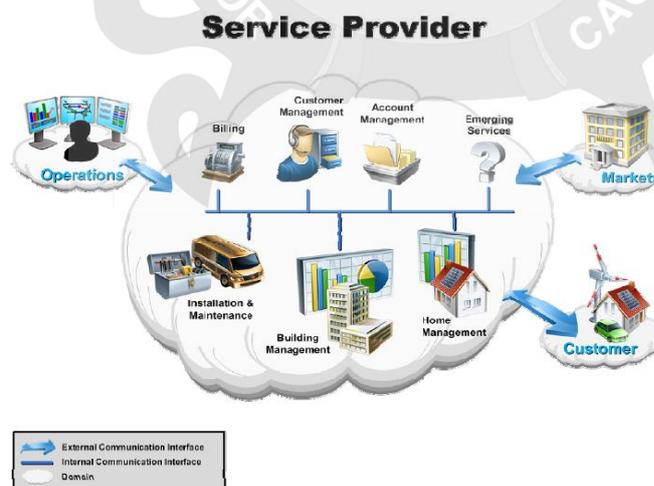


Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

3. Proveedores de Servicios

Corresponde al comercializador del servicio, su comunicación con el mercado es relevante pues debe definir con los consumidores las cantidades de energía a comercializar, debiendo enviar señales económicas a los consumidores para una mejor toma de decisiones.

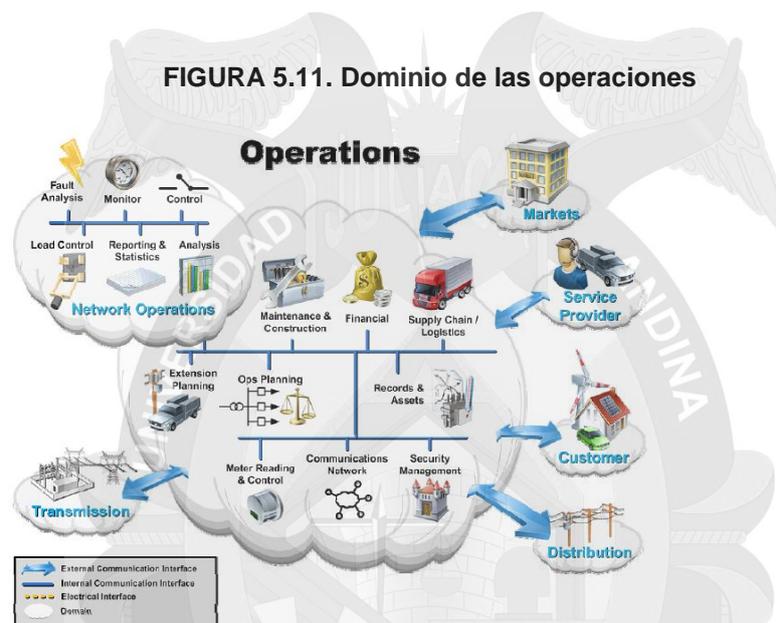
FIGURA 5.10. Dominio de los proveedores del servicio



Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

4. Operador del Sistema

Tiene como función garantizar el adecuado funcionamiento de la red. Puede realizar modificaciones en el programa de despacho económico de carga y ajustarlo las restricciones técnicas. Tiene funciones de planificación de la operación, evaluación de las contingencias, restauración del servicio, así mismo puede realizar la planificación de la expansión.

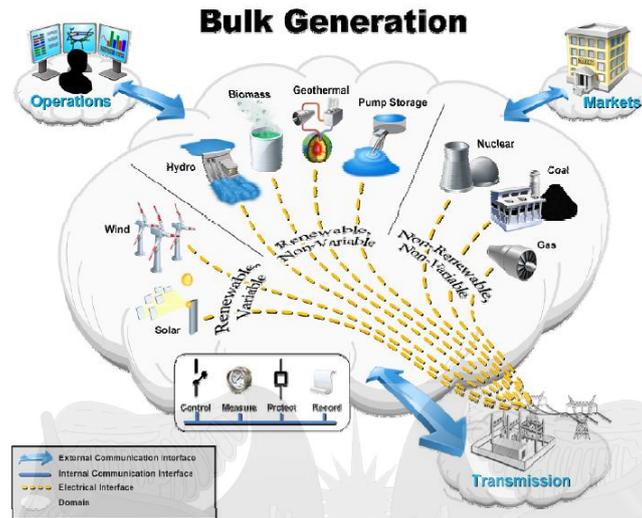


Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

5. Sistemas de Generación

Los sistemas de generación se hallan conectados a diferentes puntos de la red utilizando las redes de transmisión por donde canalizan la energía que es consumida en los menores niveles de tensión.

FIGURA 5.12. Dominio de la generación a gran escala

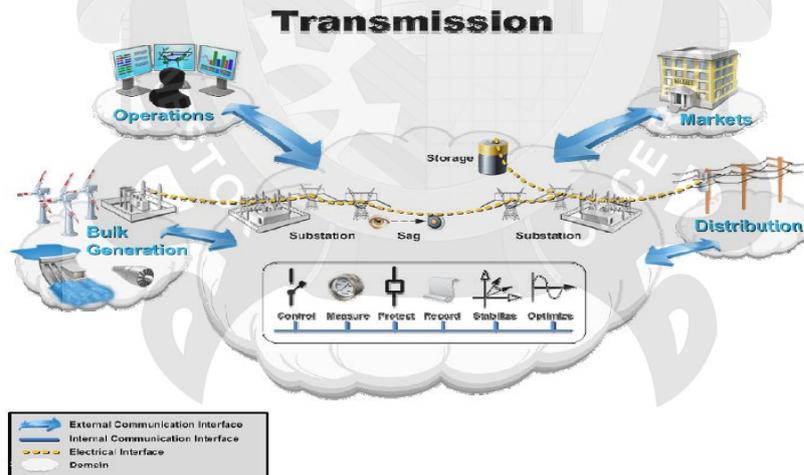


Fuente: Reporte de NIST. (National Institute of Standards and Technology)

6. Transmisión

Los transportadores de energía en volúmenes y en distancias extensas. Pueden almacenar y/o generar energía eléctrica.

FIGURA 5.13. Dominio de la transmisión



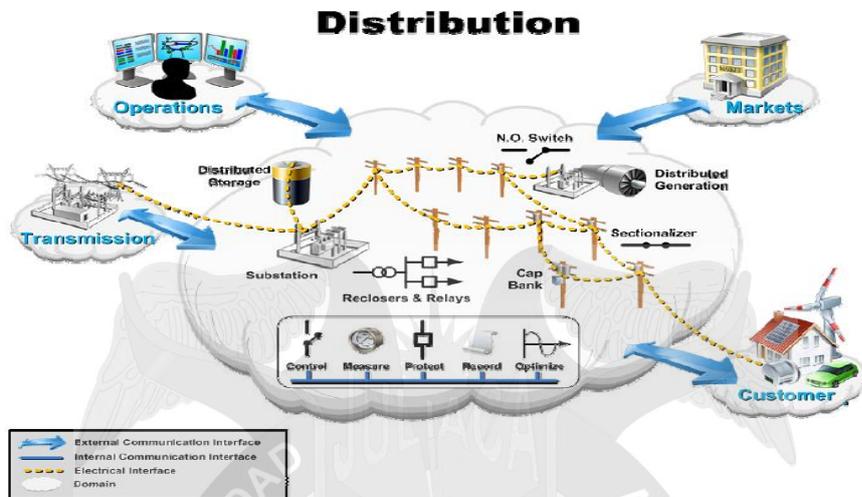
Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

7. Red de Distribución

La red de distribución eléctrica es interconectado con la red de transmisión, con los usuarios y de comunicaciones monitoreado por el operador del sistema, los

mercados y los consumidores, en la red se encuentra presente la generación distribuida y los sistemas de almacenamiento.

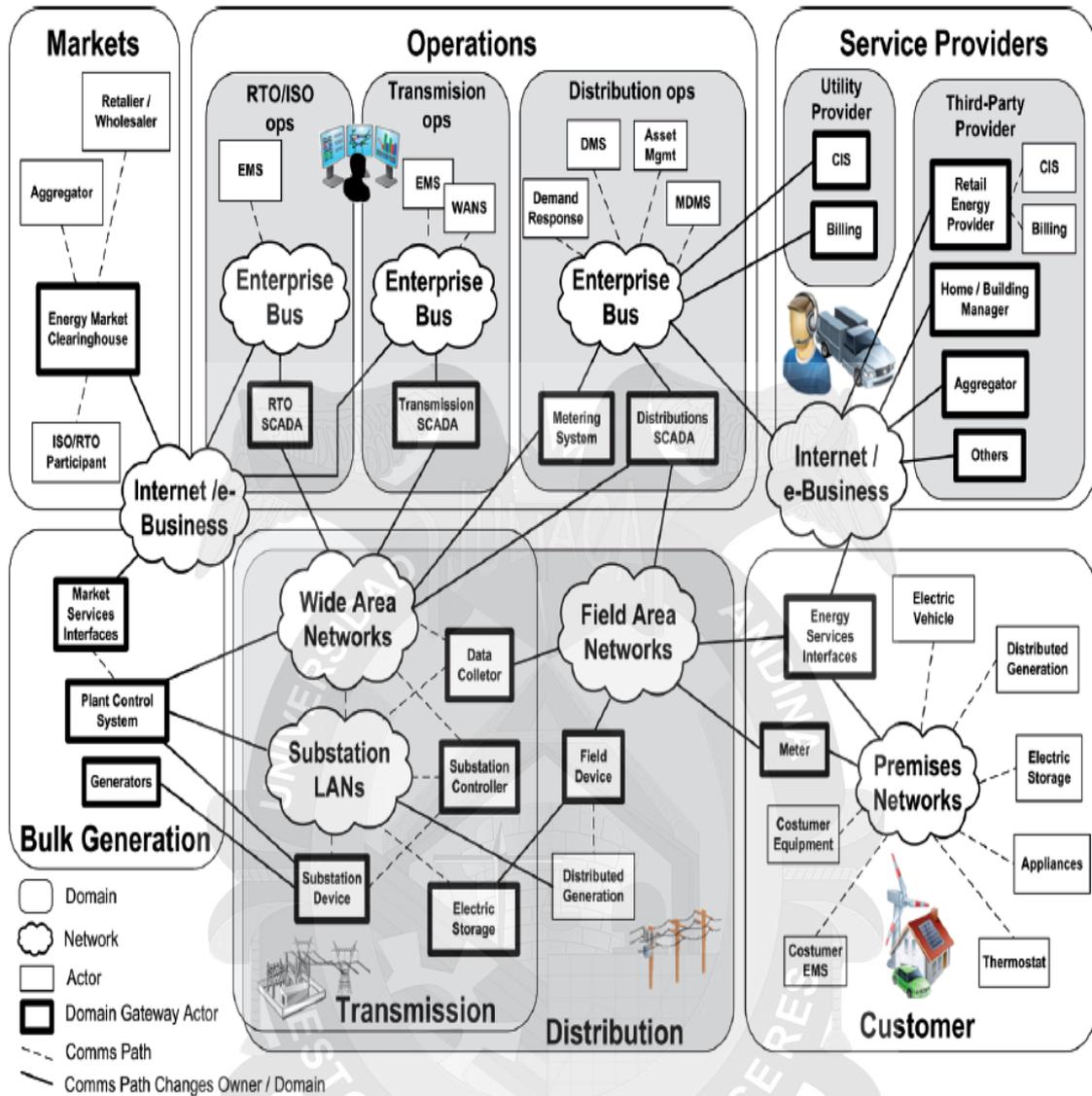
Figura 5.14. Dominio de la distribución



Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

La Figura 5.15 muestra la arquitectura de una eléctrica inteligente “smart grid”, que integra todos los usuarios conectados al sistema tales como: generadores, transmisores, operadores, productores, y consumidores, para garantizar la operación segura de un sistema energético sostenible y económicamente eficiente, con menores pérdidas de energía y con mejor nivel de calidad de servicio, protección y seguridad de suministro.

Figura: 5.15. Diagrama arquitectónico de Smart Grid

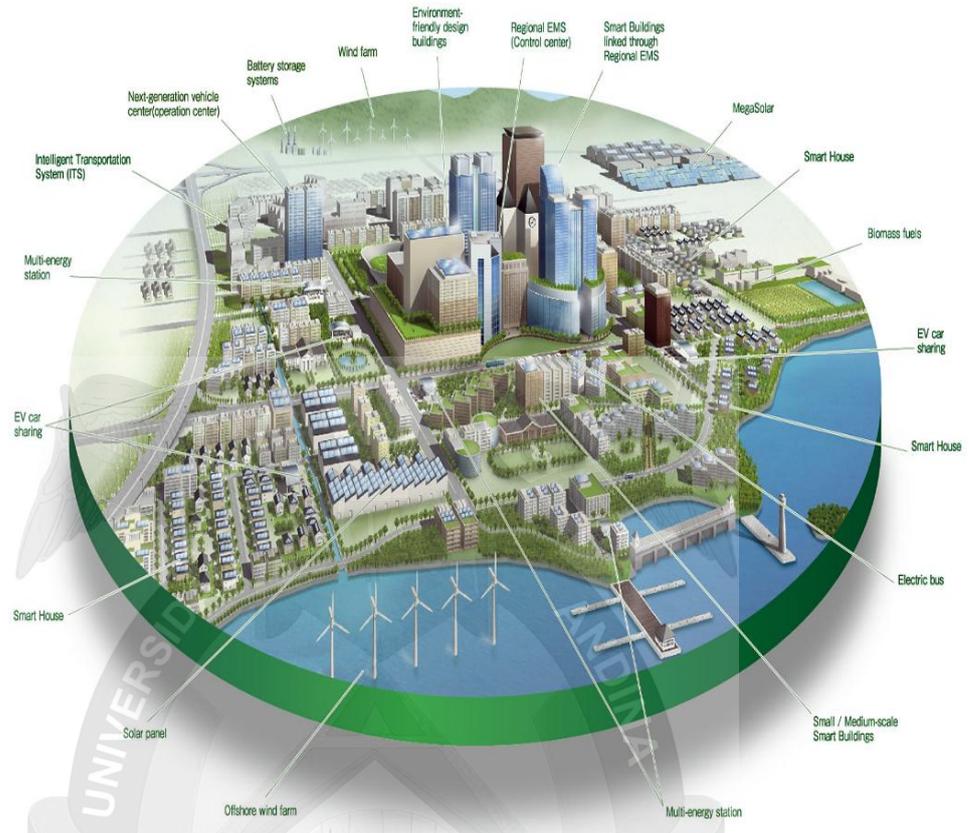


Fuente: Reporte de National Institute of Standards and Technology

5.7. APLICACIONES ESPERADAS

Las redes eléctricas inteligentes, impactan significativamente en toda la cadena del valor y en particular al Usuario o Consumidor de la energía eléctrica

Figura: 5.16. Distribución de las redes inteligentes



Fuente: WEF(World Economic Forum, 2017) *The Future of Electricity*

5.8. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES (TIC)

Díaz, C. & Hernández, J. (2011) y Katz (2010b): *Revista S&T*, 9(18), 53-81

Opinan: Que las (TICs) y la modernización de las redes de energía eléctrica: muestran cómo las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) son necesarias para desarrollo del negocio energético. Uno de los requisitos fundamentales para la implementación de una red inteligente es poseer y gestionar en tiempo real un gran volumen de información del estado de la generación, de la red de transporte o distribución y de los usuarios finales. Esto

tiene implícita necesidad de implementar una infraestructura de TIC acorde con el avance de la tecnología que sea confiable y segura.

5.8.1 Control Remoto de los Equipos del Sistema de comunicación

Los sistemas de operación de los tele comandos para seccionamiento de los interruptores de los sistemas eléctricos en sistema de distribución en media tensión son controlados remotamente desde cada centro de control y las variables de puntos remotos son monitoreados con el sistema SCADA local de cada subestación.

Los medios de comunicación más utilizados en una infraestructura inteligente son: Radio, Fibra óptica, IP Network, PLC, GPRS y Otros.

Figura 5.17. Tecnologías de información y comunicaciones (TIC)

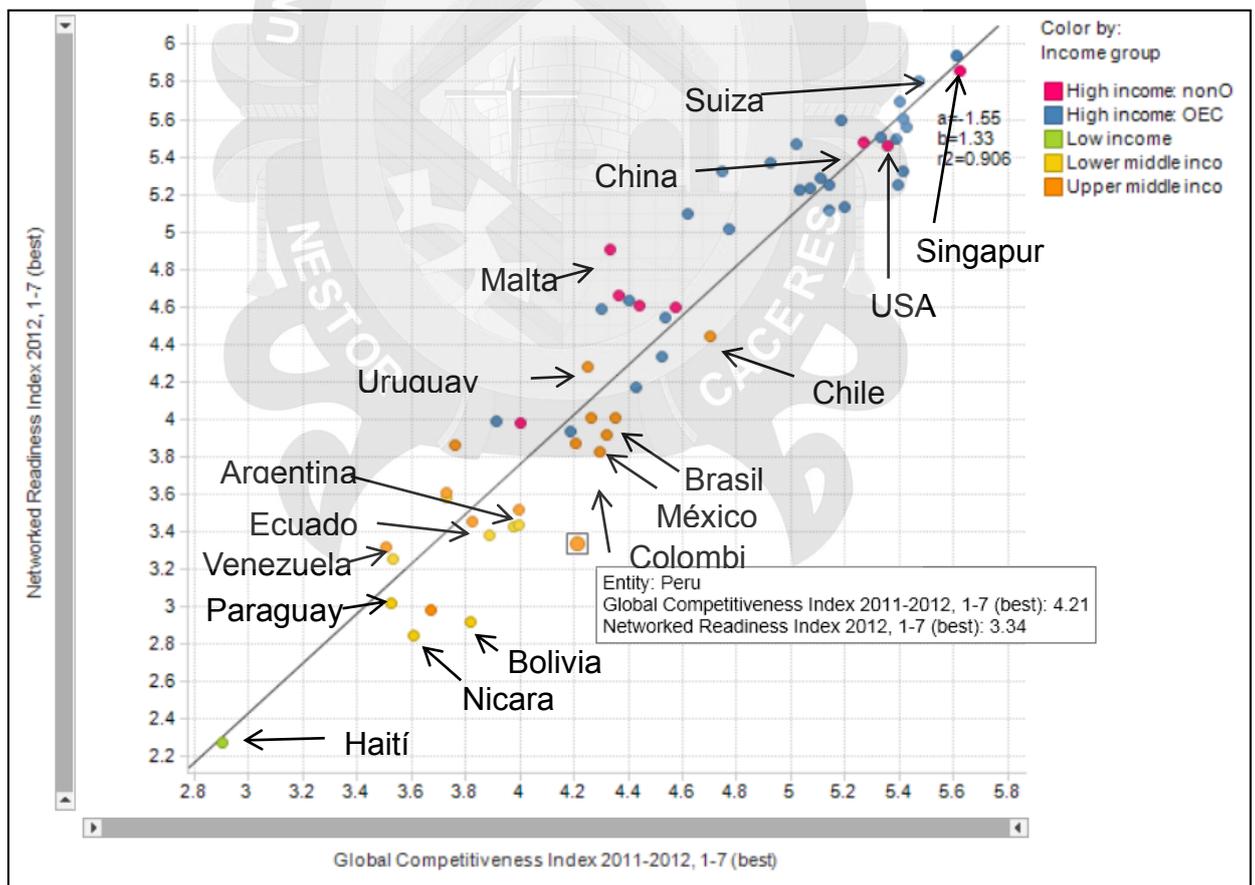
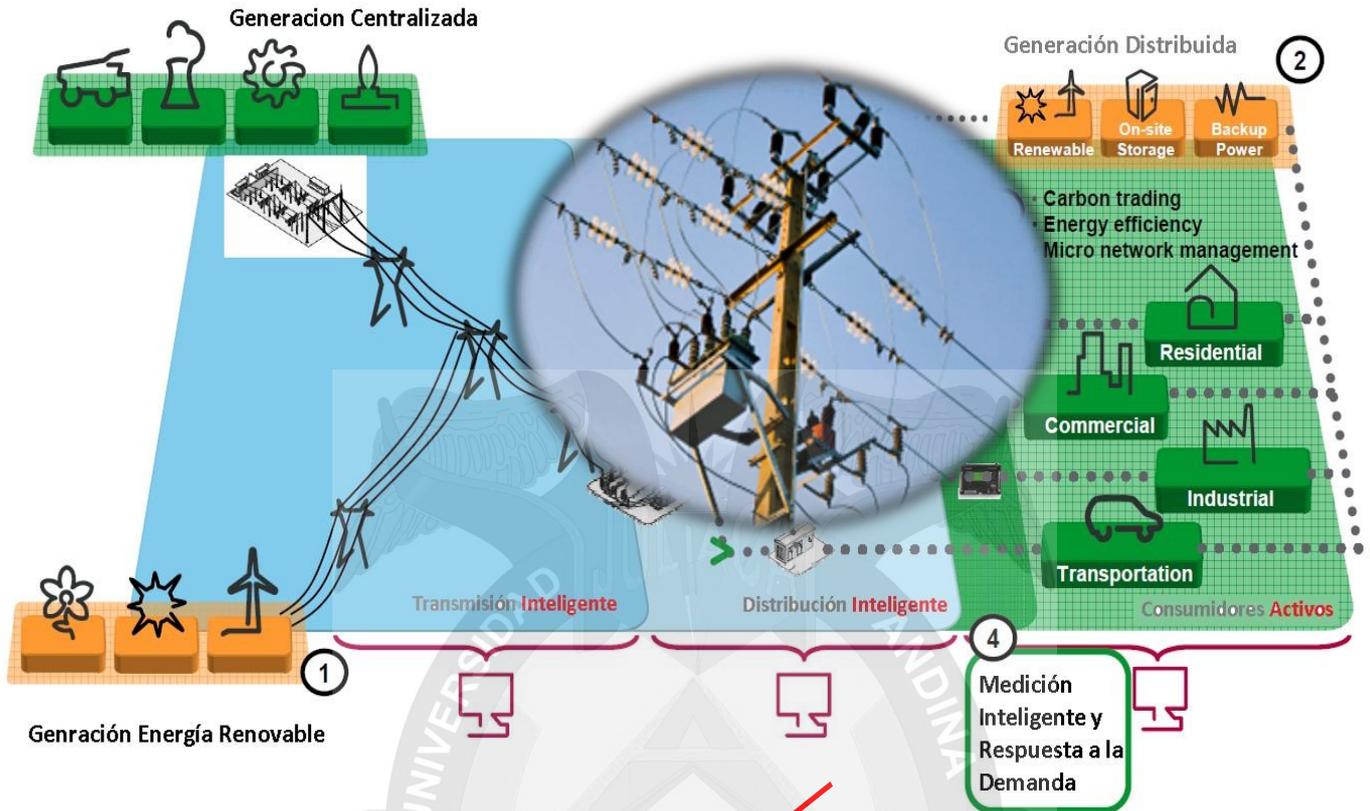


Figura 5.18. Evolución hacia los Smart Grid



1ra Etapa: Solucionar problemática de Interrupciones Automatizando la Distribución de energía eléctrica.

FUENTE: OSINERGMIN

5.9. AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

En los sistemas eléctricos actuales los interruptores, los reconectores, y los seccionadores no son dispositivos automatizados razón por la cual los sistemas han integrado actuadores como operadores en un caso secundario considerando que todos los demás dispositivos son de accionamiento manual, estos dispositivos de mando secundario toman la forma de relés de protección para desconectar las corrientes de falla, como son los interruptores y los

reconectores y este entorno actual del sistema de operación impone las condiciones de operación en el sistema de distribución que son necesarias mejorar mediante la automatización del sistema eléctrico.

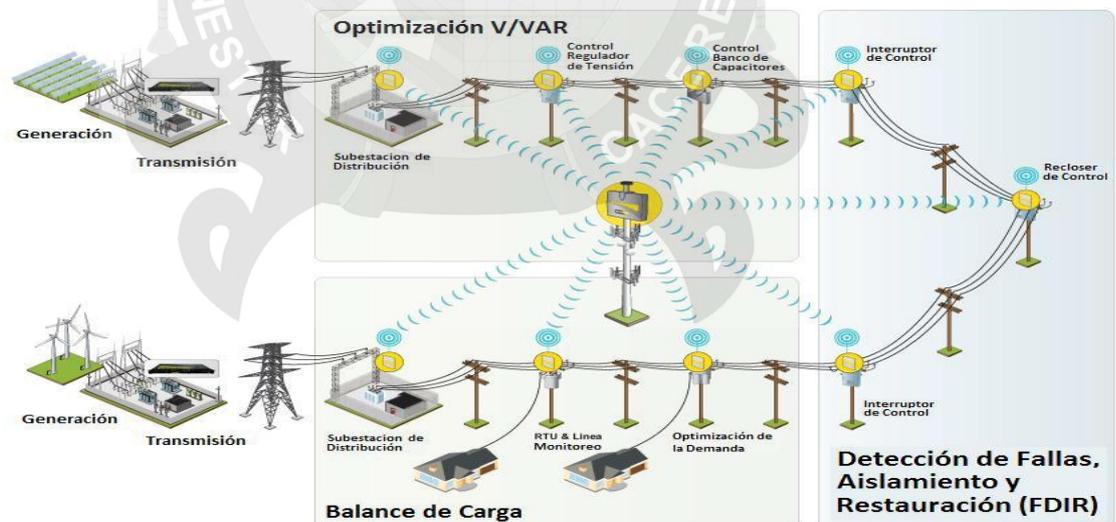
5.10. PORQUE AUTOMATIZAR LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

En forma general una automatización de los sistemas de distribución involucra diferentes disciplinas: operación de la red en estado permanente, análisis de protecciones, control, monitoreo, comunicaciones, sistemas de información y sus tecnologías en tiempo real, bases de datos, medición, etc. Las Herramientas utilizadas en inteligencia computacional para la automatización son:

- Tecnologías de información actualizada.
- Sistemas de Comunicaciones de última generación
- Automatización con procesamiento para redes inteligentes

Figura 5.19, muestra una automatización de una red para detectar de Las fallas.

Figura 5.19. Automatización para detección de fallas



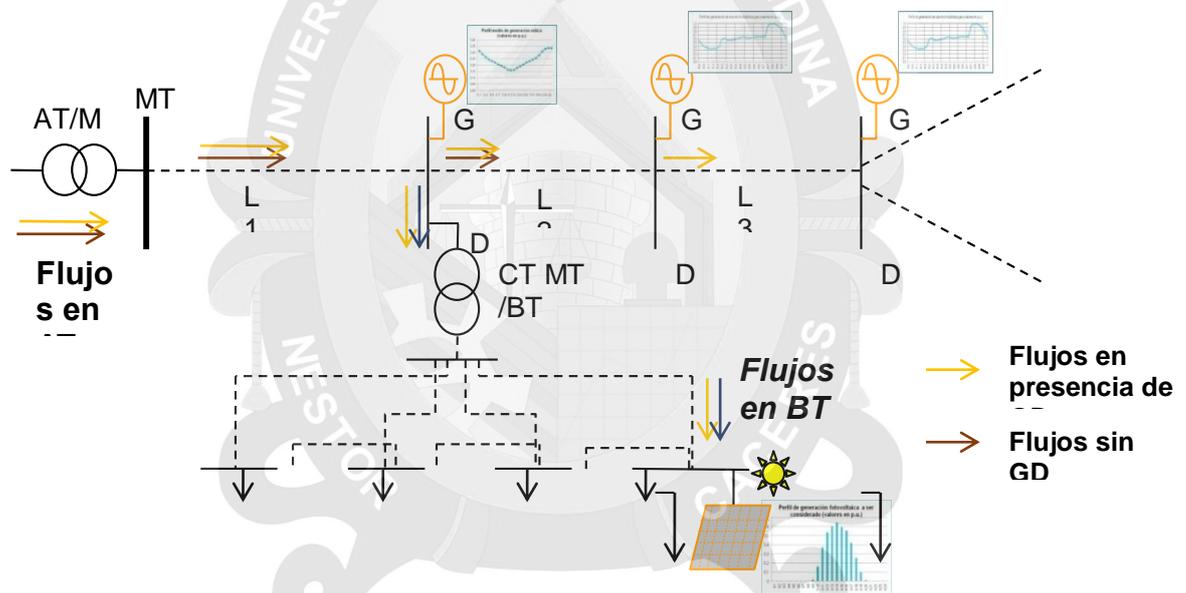
Fuente: Osinergmin

5.11. ALGUNOS CRITERIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA RED EN MEDIA TENSIÓN

Criterios básicos para automatizar una red eléctrica:

1. Reordenar la red de distribución de media tensión según la topología existente, es decir: en radial, o anillo.
2. Se requiere planificar adecuadamente la red de distribución desde aguas arriba hasta punto la cola del mismo.
3. Definir parámetros en la calidad del suministro con índices de interrupciones para mejorar el servicio a los usuarios.
4. Definir claramente los metas y el horizonte de operación del sistema eléctrico de distribución.
5. Definir las arquitecturas de control, automatización y monitoreo de como una red inteligente con integración de generación distribuida.

Figura:5.20. Ubicación óptima de Generación distribuida



Análisis de redes de distribución	Análisis de impacto en el mercado mayorista	Valoraciones a nivel de cliente (VE)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdidas técnicas 2. Costes de expansión 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Precio marginal 2. Capacidad de reserva 3. Emisiones de CO2 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emisiones de CO2 del VE 2. Coste energético para usuarios de VE

Fuente: Osinergmin

Infraestructura Eléctrica de Distribución

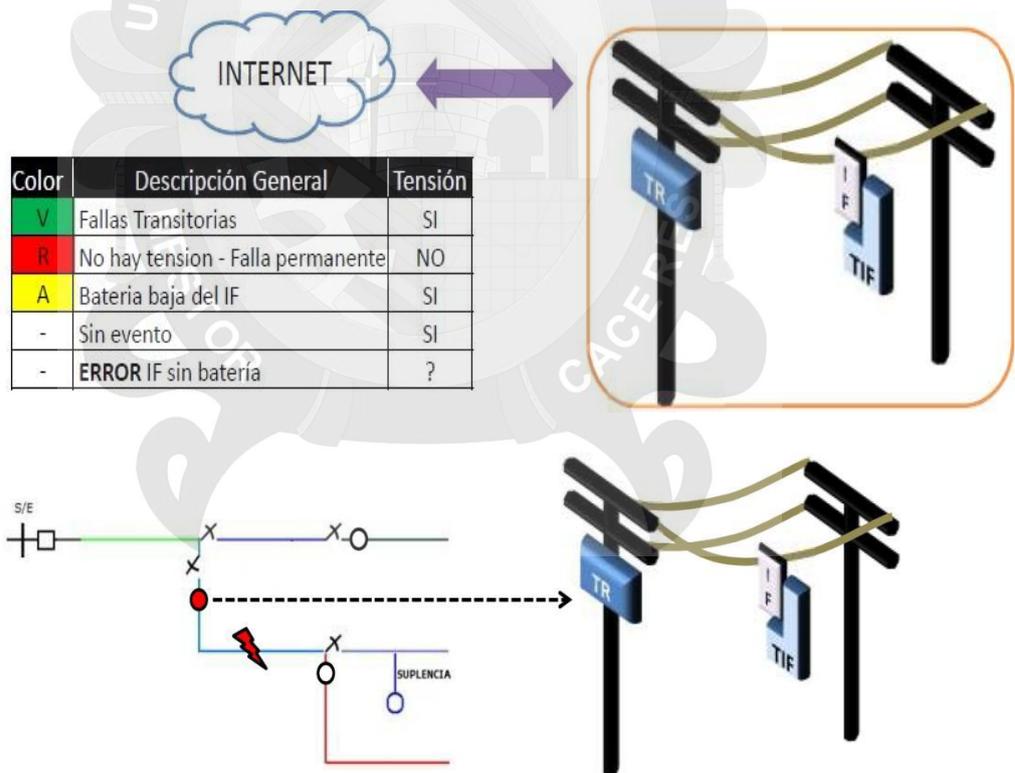
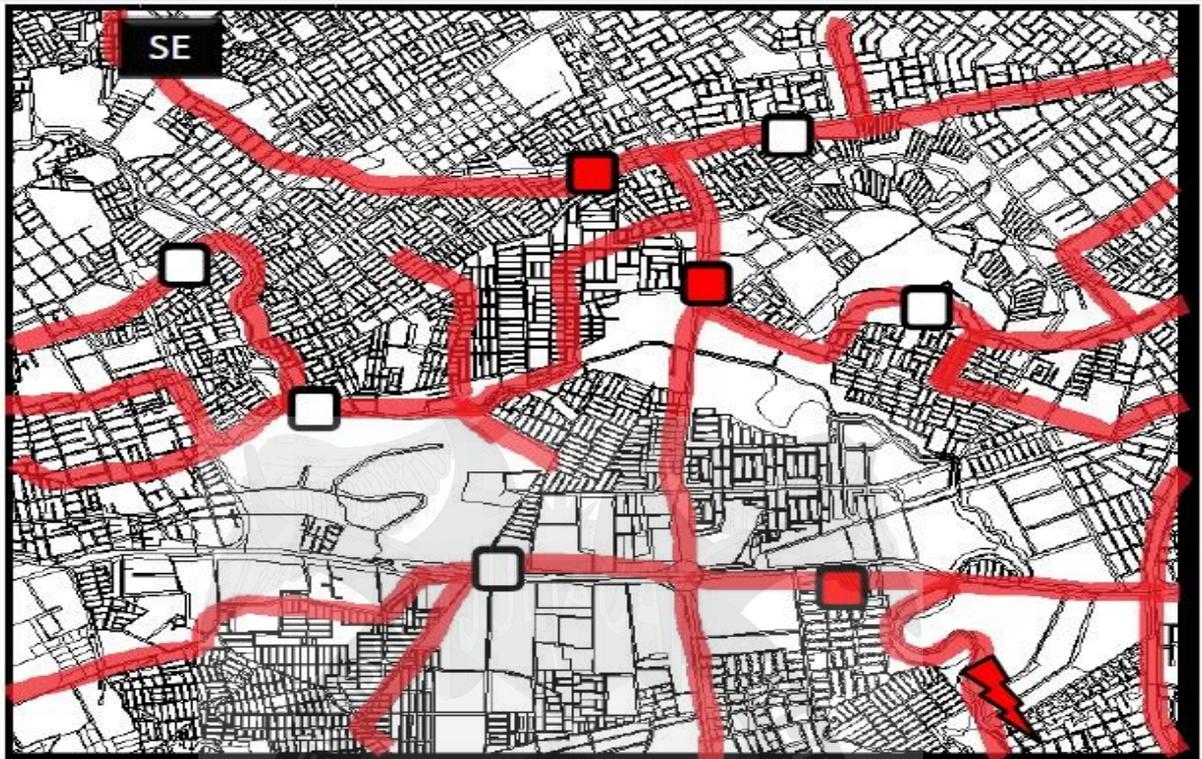
N°	SISTEMA ELECTRICO		SECTOR TIPICO	NUMERO SEDs	LONGITUD MI [km]	LONGITUD BI [km]
1	SE0032	Cusco	2	892	328.68	928.15
2	SE0033	Iberia	5	42	141.98	39.76
3	SE0034	Pto Maldonado	2	190	54.48	220.23
4	SE0035	Abancay	2	155	61.32	202.47
5	SE0036	La Convención	2	75	21.30	75.86
6	SE0038	Yauri	4	481	853.37	781.14
7	SE0039	Iñapari	3	6	1.56	7.56
8	SE0040	Valle Sagrado 1	4	617	795.99	910.70
9	SE0041	Valle Sagrado 2	5	499	826.75	1010.16
10	SE0042	Andahuaylas	4	736	927.40	1126.03
11	SE0241	Abancay Rural	6	448	713.23	683.28
12	SE0243	La Convención Rural	5	1324	1822.51	2686.46
13	SE0244	Sicuani	2	60	27.32	102.62
14	SE0245	Valle Sagrado 3	6	707	1073.70	1100.41
15	SE1034	Pto Maldonado Rural	4	209	288.48	115.48
16	SE1036	Machupicchu	2	29	16.30	9.96
17	SE1042	Chacapunte	6	228	623.27	295.39
18	SE1242	Combapata	5	467	754.11	860.93
19	SE2034	Mazuko	3	83	237.20	67.50
20	SE2042	Chuquibambilla	6	198	373.96	201.05
21	SE3242	Chumbivilcas	5	715	1305.33	1380.25
22	SE4242	Sicuani Rural	6	394	510.43	1004.64
		TOTAL		8,555	11,758.67	13,810.03

SECTORES TIPICOS

TIPIFICACION	SECTOR TIPICO
Sector Típico 2 (Urbano de media densidad)	6
Sector Típico 3 (Urbano de baja densidad)	2
Sector Típico 4 (Urbano rural)	4
Sector Típico 5 (Rural de media densidad)	5
Sector Típico 6 (Rural de baja densidad)	5
TOTAL	22

Fuente: ELSE+elaboración propia

Figura: 5.22: Localización de la zona fallada georeferenciada



Fuente: Else

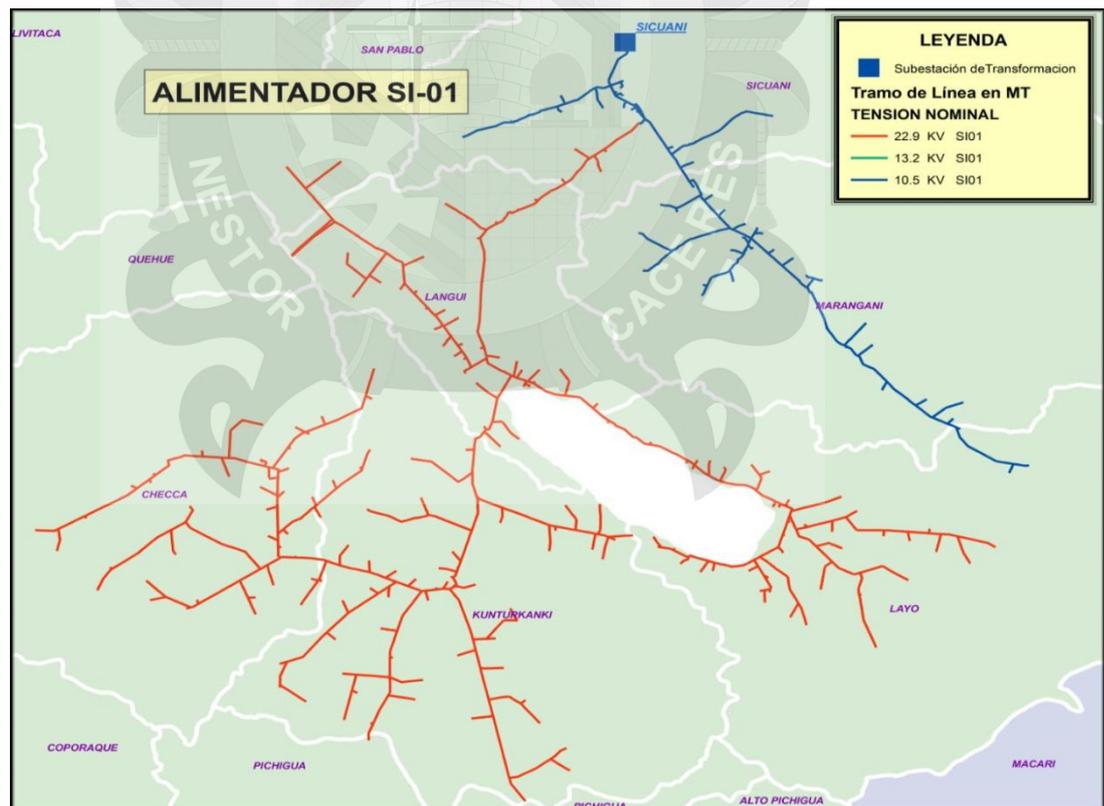
5.13 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD CON APLICACION DE REDES INTELIGENTES PARA DISMINUIR ÍNDICES DE INTERRUPCIÓN

La capacidad de transferencia de carga entre alimentadores se puede obtener a través de transferencia con otros alimentadores.

Igualmente se puede obtener con la incorporación de la generación distribuida, para lo cual se plantea 2 algoritmos metodológicos para un indicador de fallas y ubicación óptima de los equipos de protección en las figuras 7.24 y 7.25 respectivamente.

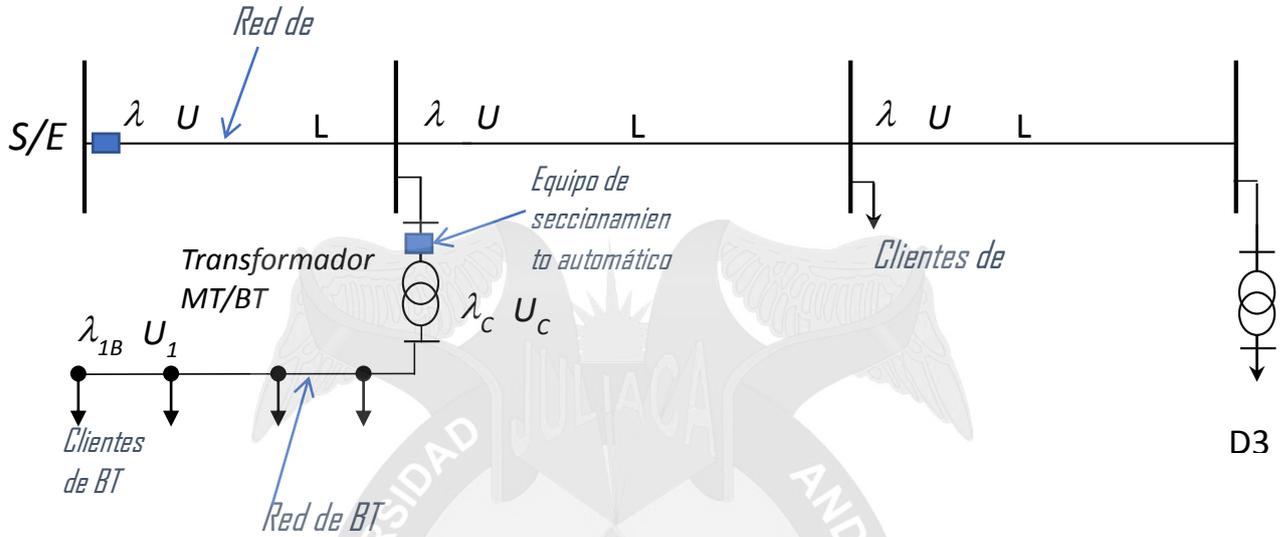
La transferencia de carga entre alimentadores permite aislar las zonas falladas y alimentar las cargas al final del alimentador a través de las suplencias, por lo tanto se mejora el tiempo de interrupción pero el número de interrupciones será igual tal muestra la Figura 5.23

Figura 5.23. Diagrama unifilar - Alimentador de SI-01 (Sicuani)

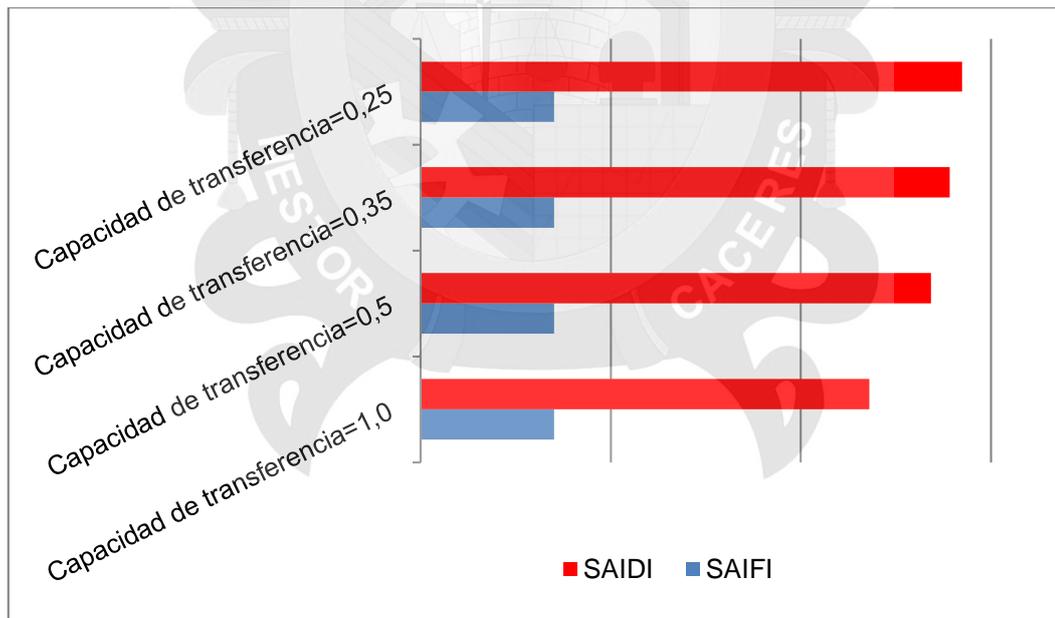


Fuente: Argis Else+elaboración propia

Figura :5.24. Ubicación óptima de equipos de protección, seccionamiento e indicador de falla



Cada uno de los componentes de red le confiere al sistema una indisponibilidad



Fuente: Osinergmin

Figura 5.25 Algoritmo de indicador de una falla

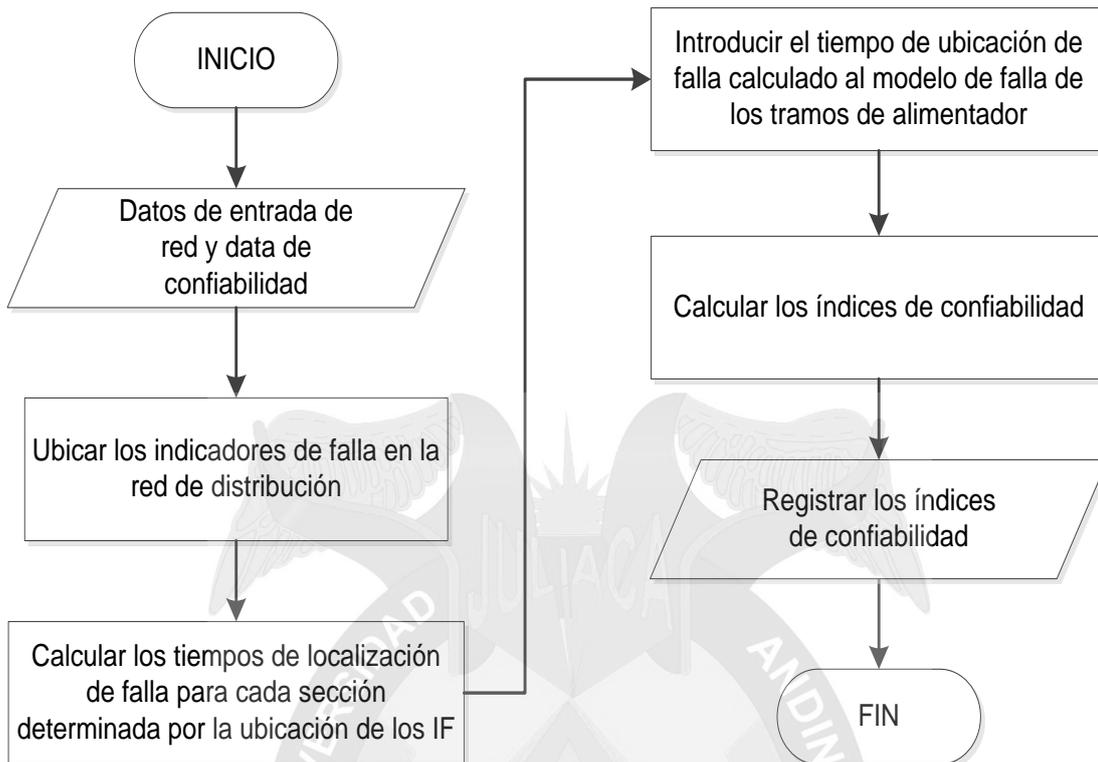
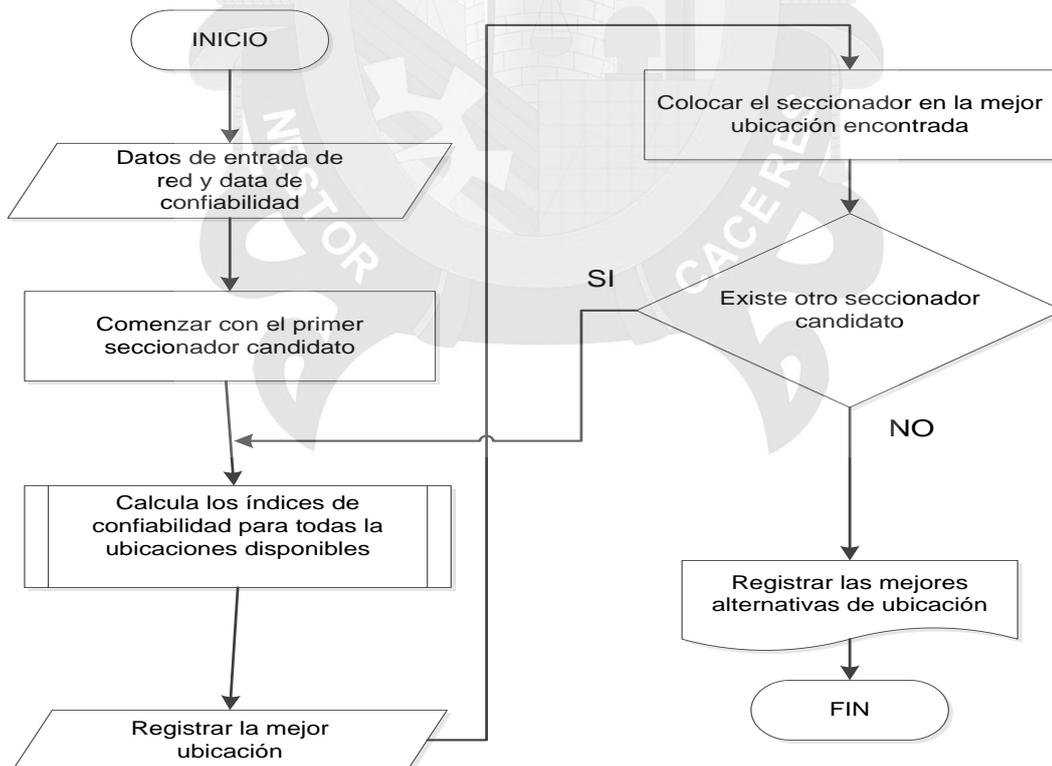


Figura 5.26. Algoritmos para la ubicación óptima de equipos de protección

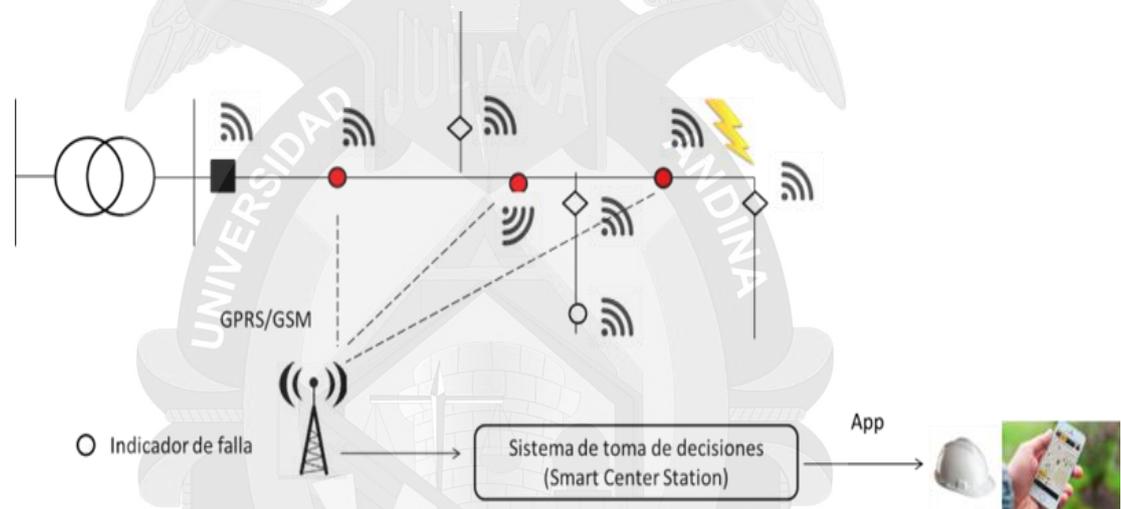


Fuente: elaboración propia

5.14 Sistema de telecontrol Inteligente

Los equipos de seccionamiento e indicadores de falla aguas abajo envían información hacia un sistema de toma de decisiones SCS alojado en un Web Server. El algoritmo registrará la localización del punto de falla a través de la información suministrada por el indicador de falla, y través de un aplicativo móvil que enviará la localización de punto de falla al personal de campo más cercano.

Figura 5.27. Sistema típico de distribución con IF y ESP, con Comunicación



Fuente: elaboración propia

5.15 SECCIONALIZADOR AUTOMÁTICO RESTABLECIBLE

Catálogo de CELSA, Sayas (Octubre 2015): Define:

“Es un sistema electrónico para una protección lógica inteligente de una red eléctrica de media tensión”. Sus principales características:

- Dispositivo de protección para redes aéreas de distribución Primaria
- Posee un sensor electrónico incorporado al dispositivo
- Discrimina una falla temporal de una falla permanente
- Mejora el Sistema de coordinación con reclosers y fusibles

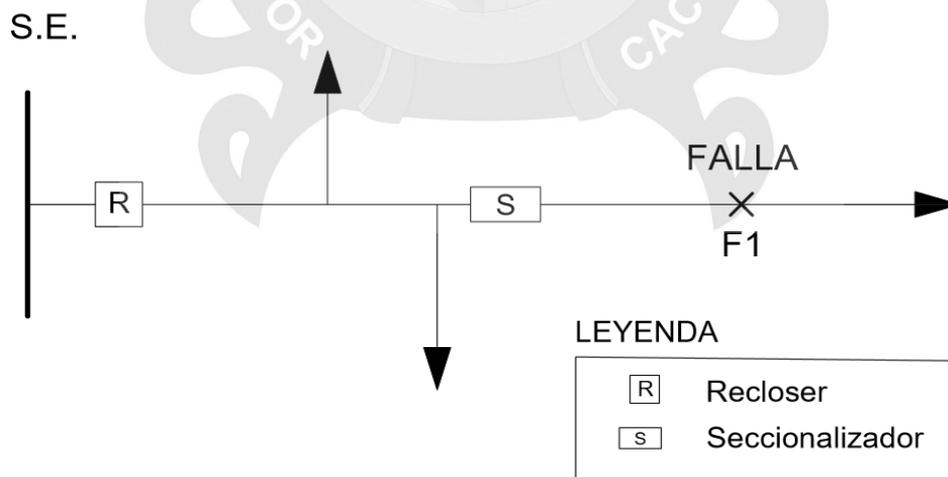
- Es instalado en un seccionador estándar o convencional
- Abre el circuito como un tubo portafusible para dar una indicación visual de una falla permanente y después de reparar la falla se restaura el sistema.

Figura 5.28. Seccionalizador automático



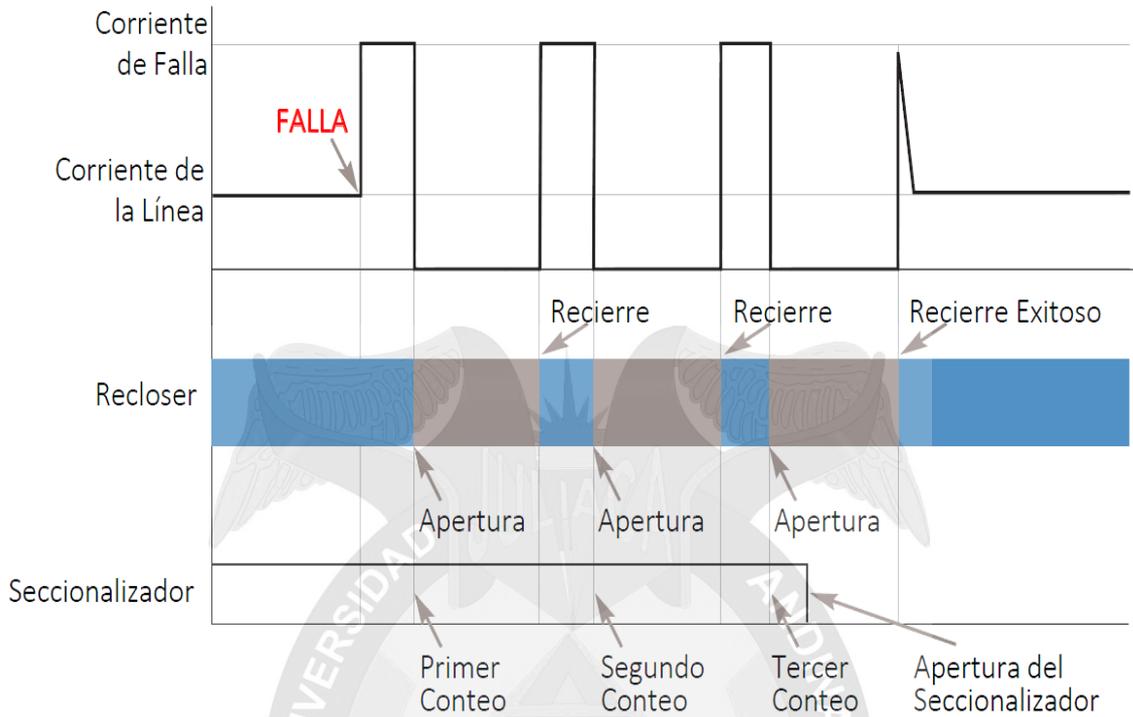
Fuente: Catalogo de CELSA (15)

Figura 5.29. Esquema para protección con seccionalizador



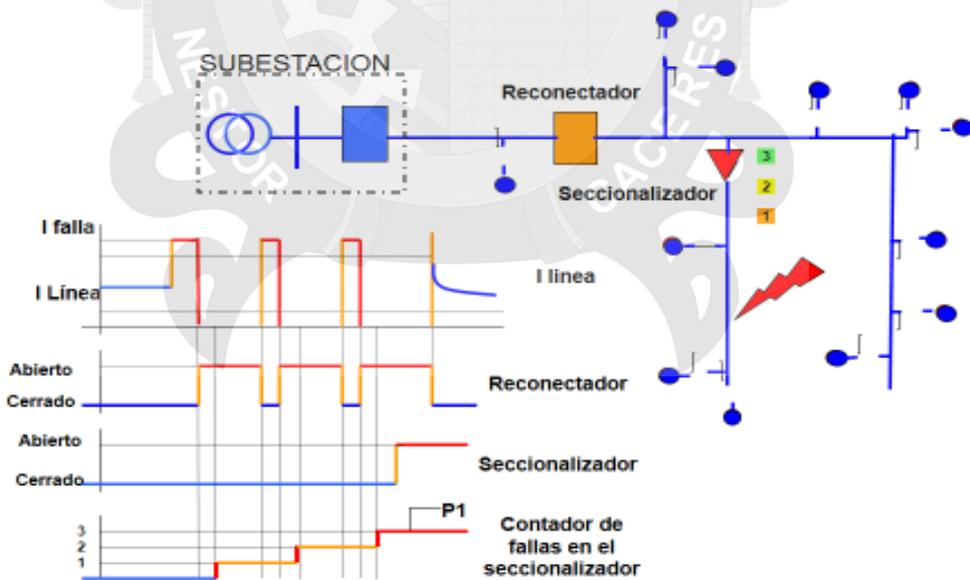
fuente: elaboración propia

Figura 5.30. Operación del seccionizador para falla permanente (3 conteos)



Fuente: Catálogo de INAEL S.A. (16)

Figura 5.31. Sistema De Control Inteligente



Fuente: CELSA S.A.

5.16 RECLOSER O INTERRUPTOR INTELIGENTE

Manual de usuario del fabricante: NOJA POWER, Sayas Poma, (Octubre 2015), Define un interruptor inteligente:

“El interruptor automático de recierre es capaz de romper la continuidad de las corrientes de falla, desde cero hasta su capacidad de interrupción nominal, en un máximo de cuatro secuencias predeterminadas a intervalos temporizados hasta su apertura definitiva”.

Los medios de extinción de arco pueden ser por medio de: Aceite, Vacío, SF₆, soplo de aire y soplo de aire-magnético.

“Es un sistema con capacidad de recuperación de la estabilidad y la fiabilidad bajo las condiciones de operación cuando ocurre contingencias simples o múltiples”.

“El **interruptor** también ofrece funcionalidad SCADA y brinda aplicativos significativos para la protección de líneas radiales y proporciona una mejor segmentación y coordinación con los demás sistemas de protección en aplicaciones de restauración en anillo sin comunicación”.

Figura 5.32. Montaje típico del recloser inteligente



Fuente: Manual de usuario del fabricante: NOJA POWER

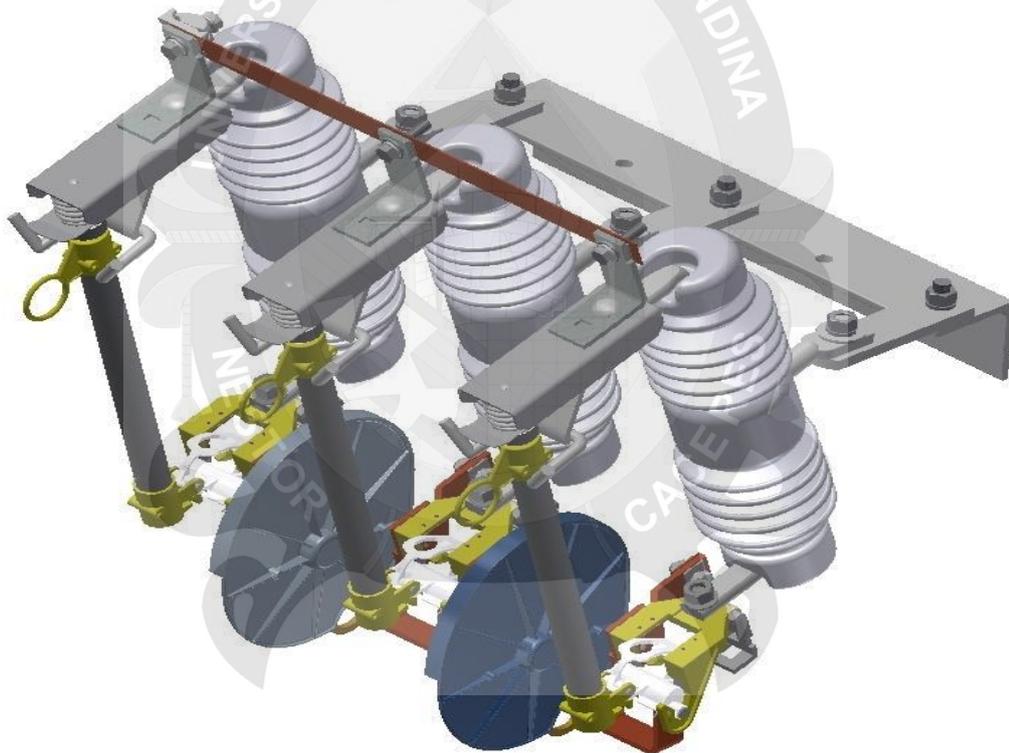
5.17 SECCIONADORES DE REPETICIÓN O SECCIONADOR DE TRES

ETAPAS

El seccionador fusible de repetición consiste de tres bases de seccionador de tipo intercambiable equipados con sus respectivos portafusibles ensambladas en una misma estructura, integradas mecánica y eléctricamente.

Los tres equipos agrupados son conectados a una de las fases del sistema de distribución con el fin de mantener el servicio de los circuitos de distribución a los cuales están conectados cuando se presentas fallas de tipo transitorio.

Figura 5.33. Seccionador de repetición o seccionador de tres etapas



Fuente: Catálogo de fabricante: CELSA (www.celsa.com.co)

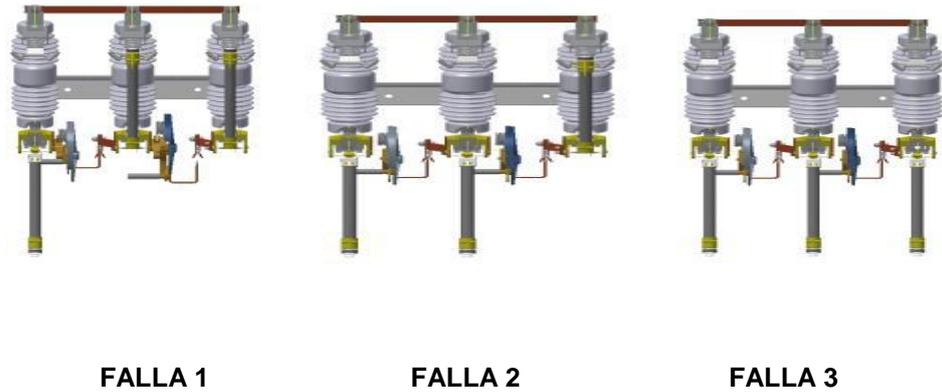
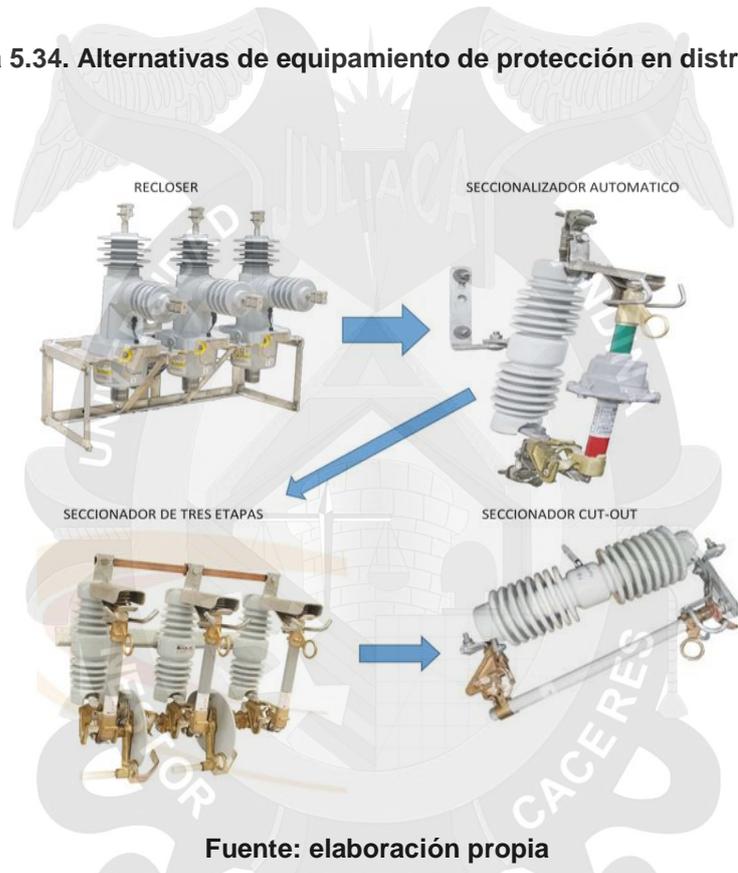


Figura 5.34. Alternativas de equipamiento de protección en distribución



Fuente: elaboración propia

5.18. PROPUESTA DE PROTECCIÓN SI-01 DE LA S.E. SICUANI

Para la operación con ambas mini centrales (Hercca y Langui) conectadas al Alimentador en Media Tension (AMT) SI-01 (Operación anterior hasta antes del 2017) fue perjudicial, pues provocó la desconexión del AMT SI-01 (con GD y sin falla) cuando la falla se registraba en otro AMT (en SI-02 y SI-05).

Para las condiciones actuales de operación, la GD conectada al AMT SI-01 no es perjudicial para operación del sistema de protección, pues la corriente de aporte hacia la falla no supera a la corriente de disparo del AMT SI01 (que es de 192 A). Por tanto, la operación del sistema de protección del AMT SI01 son adecuados.

Figura 5.35. Disposición de los equipos de protección alimentador SI-01



Fuente: Elaboración Propia con DigSILENT



5.19 COMENTARIOS SOBRE BENEFICIOS DE LOS SMART GRIDS

- Los Smart Grid controla la estructura de una red eléctrica operativamente a diferentes niveles de tensión: como transmisión, subtransmisión y distribución tanto media y Baja tensión, con el fin de aumentar la confiabilidad de operación de un sistema eléctrico.
- Permite automatizar la gestión de la oferta y demanda de energía eléctrica activa, monitoreando y operando de manera óptima en horas de máxima demanda, inyectando al sistema energía eléctrica a través de parques solares, eólicos y pequeñas centrales hidráulicas para mantener la red en forma estable y segura frente a las contingencias que se pueden presentar.
- Permite analizar un nuevo modelo de producción energética distribuida donde los consumidores también deben ser productores de energía eléctrica (auto productores), mediante la integración de energías renovables en hogares inteligentes y sólo se consume de la red cuando haya déficit, ofreciendo sus excedentes de producción a la red durante algunas horas del día, donde no se consume
- Incrementa la satisfacción a los usuarios, al reducir significativamente los tiempos de restablecimiento del suministro eléctrico, mejorando los índices de confiabilidad de SAIFI Y SAIDI y no afecta a terceros en generación de energía eléctrica ni al medio ambiente.
- Contribuye con la gestión de las Empresas concesionarias en la planificación de sus futuros proyectos a corto y mediano plazo obteniendo beneficios en su rentabilidad.
- Prepara la red para la automatización en tiempo real del sistema eléctrico en media tensión en forma integral y luego como segunda etapa la implementación de Smart Grids.



CONCLUSIONES

- Primera.-** La Generación distribuida mediante energías renovables, se presenta como la alternativa más viable y efectiva a corto plazo para aliviar los problemas provenientes de un crecimiento radial de la demanda de energía, así como la dependencia de los combustibles fósiles derivados del petróleo para generación de energía eléctrica a grandes escalas, ofrece beneficios importantes, en los sistemas, de distribución como es la reducción de pérdidas, mejorar la confiabilidad, la calidad de energía entre otros,
- Segunda.-** La máxima demanda actual del sistema Sicuani llega a 8.407 MW, con la incorporación de las pequeñas centrales generadoras de Hercca y Langui no llega a cubrir la demanda requerida, puesto que la potencia generada es de 4.27 MW, y el faltante se llega a cubrir con la transferencia de potencia del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.
- Tercera.-** La evaluación operativa para el alimentador SI-01 teniendo en cuenta la interconexión de las dos Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de Hercca y Langui, para los dos escenarios se obtiene una demanda máxima despachada de 1.201 MW, y las pérdidas de potencia activa con GD alcanza un valor 0.103 MW que significa 8.576% a diferencia de las pérdidas sin GD es de 0.126 MW que significa 10.491% del total de la demanda de este alimentador,



lo cual muestra la gran diferencia con la integración de la Generación.

- Cuarta.-** El perfil de tensión en el sistema Sicuani mejora con la incorporación de la generación distribuida, teniendo caídas de hasta 2.302% considerando la GD y 5.677% Sin GD y la cargabilidad de las líneas en el alimentador SI-01 disminuye para una operación con generación distribuida 14.314% y para el escenario sin generación distribuida es de 19.511%.
- Quinta.-** Se obtienen resultados para los alimentadores de la red de Sicuani de **Saifi**, con generación distribuida **5.236** y sin generación distribuida de **7.559**, de igual manera sucede para **Saidi**, con GD **7.136** y sin GD **9.561**, esto representa que con la incorporación de la generación distribuida mejoramos las interrupciones y confiabilidad del sistema de distribución de Sicuani.
- SEXTA.-** Se propone un perfil de un modelo inteligente para una red de distribución eléctrica convencional, que es un cambio de paradigma de la gestión de la oferta y demanda activa de los usuarios y el ingreso de nuevos agentes para tener una red autónoma operativamente y utilizar con eficiencia los activos de la red para monitorear con un sistema de automatización para los diferentes alimentadores de Sicuani, en particular SI-01 que cuenta con generación distribuida ante fallas externas con indicadores de SAIFI Y SAIDI.



RECOMENDACIONES

- Primera.-** Se sugiere a las Empresas distribuidoras de Energía eléctrica entre con más agresividad a los grandes retos por resolver la automatización y implementación de redes smart Grid en las redes de distribución con la integración de la generación distribuida (GD), con apoyo de una normatividad vigente de la Dirección General de Electricidad sobre la implementación de redes inteligentes y generación distribuida.
- Segunda.-** Iniciar con proyectos pilotos de generación distribuida integrados a redes inteligentes para hacer viable las aplicaciones propuestas y que darían solución a la problemática actual de calidad de suministro, medición inteligente remota, la automatización y monitoreo de las redes eléctricas estableciendo estrategias y acciones para llegar a contar con sistemas de alta eficiencia inteligente.
- Tercera.-** La empresa distribuidora de energía eléctrica debe cumplir con los estándares de desarrollo de inter-operabilidad, evitar las grandes inversiones en infraestructura que podrían quedar obsoletas al no ser compatible con los avances de la industria con tecnología de punta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Marco Vinicio Herrera García, Enero 2013: Descripción De Redes Inteligentes y Su Aplicación en los Sistemas de Distribución Eléctrica.
- [2] Samper M. y Vargas A., 2008. Fuzzy Assessment of Electricity Generation Costs Applied to Distributed Generation. Comparison with Retail Electricity Supply Costs,
- [3] Rodríguez Alberto, 2009. "La generación distribuida y su posible integración al sistema interconectado nacional", Colombia 2009.
- [4] "Generación eléctrica distribuida" 2009 Distribution Power Coalition of America,
- [5] Amaya Gordillo Francisco, 2010 "Estudio y modelado de los recursos energéticos renovables conectados a la res eléctrica y de gas", Universidad pontificia Comillas,
- [6] Ministerio de energía y Minas, (2010), Dirección General de Electricidad - "Normas Técnica de Calidad de los servicios Eléctricos".
- [7] Francisco M. Gonzalez-Longatt, Ing. MSc Agosto,2004 Software: DlgSILENT PowerFactory 15.1.2 fglongatt@ieee.org
- [8] Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández-Collado, Pilar Baptista Lucio, 2012. "Metodología de la investigación", editorial Mc Graw Hill, cuarta edición.
- [9] Ing. Leonidas Sayas Poma, Gerente de Supervisión de Electricidad Cusco, setiembre 2017, COLOQUIO ENERGÍAS RENOVABLES Y SMART GRIDS EN EL PERÚ – IEEE UNI Problemáticas de calidad de



- suministro y aplicación de Smart Grids
- [10] Alberto Carbajo Josa, 2011, **Las Nuevas Redes Inteligentes y la Operación del Sistema**, Red Eléctrica de España
- [11] Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones Año 2011; pp. 82. : "Smart Grids y la evolución de la red eléctrica",
- [12] Conferencia Regional sobre Redes Inteligentes de Energía Santiago, 2010, "Redes Inteligentes de energía (Smart Grids) en América Latina y el caribe: Viabilidad y desafíos"
- [13] Dr. Francisco M. González. Longatt. 2004: Sistemas de generación distribuida, introducción a la generación distribuida.
- [14] Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, **Smart Grids y la Evolución de la Red Eléctrica**, España Mayo 2011
- [15] Longe O.M, Ouahada K., Ferreira H.C. and Rimer S. 2014. Wireless Sensor Networks and Advanced Metering Infrastructure Deployment in Smart Grid. , Vol. 135, Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering (Pp. 167-171).
- [16] REEEP. 2012. Renewable Energy and Energy Efficiency, Database: Policy and Regulation Review.,
- [17] Javier Alexander Muro Rosado (2012), Smart Grid en el Perú: Retos y Factores Críticos de Éxito , OSINERGMIN
- [18] Tomás Gómez, , España Junio 2011, **Redes Eléctricas Inteligentes Introducción**, Universidad Pontificia Comillas Madrid,



- [19] Cañon De Antonio Y. y Pavas A 2013. Broadband over Power-Line Networks for Control and Automation Systems in Smart Grids. VII Simposio Internacional sobre Calidad de Energía Eléctrica, Medellín, Colombia
- [20] Yuri Lee Juan Roberto Paredes Soo Hyun Lee, (2012), Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles
- [21] OSINERGMIN – GART, ABRIL 2012, Año 17 / N°2, Las características técnicas de las Redes Eléctricas Inteligentes
- [22] José I. Pérez Arreaga, Luis J. Sánchez de Tembleque, Mercedes Pardo, España 2005 **La Gestión de la Demanda de Electricidad Vol. I**,
- [23] Hart, David G. (2012) "Using AMI to realize the Smart Grid." IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century.
- [24] Empresa Electro Sur Este S.A.A, 2016
- [25] Manuel vte.Gascó gonzález año 2013 Universidad de Alicante, Area de ingeniería eléctrica, integración de energías renovables en redes eléctricas inteligentes
- [26] Clarke, G. R., Reynders, D., & Wright, E. (2014). Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems. Newnes.
- [27] Félix J. Barrio, España Mayo 2010, **Perspectivas de las Redes Inteligentes en Europa**, Centro de Investigaciones Energéticas, Medio ambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
- [28] Fovino, I, Coletta, A., Carcano, A., & Masera, M. 2012. "Critical state-based filtering system for securing SCADA network protocols". IEEE Transactions on industrial electronics, 59(10), 3943-3950.



- [29] Leónidas Sayas Poma, Msc, MBA, Octubre 2015, Perspectivas de Aplicabilidad de Smart Grid en los Sistemas Eléctricos Cusco-Perú.
- [30] Jiao, Z., Gong, H., & Wang, Y. 2012 A :Theory-based Relay Protection System Hidden Failures Detection Method in Smart Grid. IEEE Transactions on Smart Grid.
- [31] Yan, J., He, H., Zhong, X., & Tang, 2012 “Analysis of Smart Grid against Sequential Topology Attacks”. IEEE Transactions on Information Forensics and Security.
- [32] Leonidas Sayas Poma, 2017, SMART GRIDS, Aplicaciones para mejorar la Calidad del Servicio Eléctrico
- [33] Isabel Ferraris, Carlos Labriola Assessment and Control of Risk Within renewable Energy Systems Universidad del Comahue VI Congreso Latinoamericano de Generación, Transmision y Distribucion ISBN 85-903471-2-5 2005 Argentina
- [34] PROYECTO INNOVA CHILE – CORFO, enero 2014, “Investigación, Desarrollo Y Aplicación De Redes Inteligentes De Energía (Smart Grid)”: Proyecto Smartcity Santiago Informe Preparado Por Fraunhofer Chile Research / Fraunhofer Fokus-Innocity.



DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- 35) http://www.renova-energia.com/energia_renovable/energias_renovables.html
- 36) http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable
- 37) http://www.evscroll.com/List_of_renewable_resources.html
- 38) http://www.renovaenergia.com/energia_renovable/energia_solar_termica.html
- 39) http://www.renovaenergia.com/energia_renovable/energia_solar_fotovoltaica.html
- 40) http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_hidr%C3%A1ulica
- 41) http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- 42) http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_distribuida
- 43) http://www.renova-energia.com/energia_renovable/eficiencia_energetica.html
- 44) <http://www.olade.org/proyecto/eficiencia-energetica>
- 45) http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2007/09/10/1666.php



ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA:

INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES
COMO GENERACION DISTRIBUIDA EN REDES
ELECTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA TENSION EN
LA REGION DEL CUSCO

ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA	CONCLUSIONES
<p>INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO GENERACION DISTRIBUIDA EN REDES ELECTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA TENSION EN LA REGION DEL CUSCO</p>	<p>Planteamiento del problema</p> <p>Las pequeñas centrales de generación eléctrica ubicadas en la región del Cusco, se implementarán para atender la demanda eléctrica cuando éste todavía era un sistema aislado, posteriormente dichas centrales quedaron conectadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), sin antes poder evaluar las ventajas de estas fuentes de generación dentro del sistema de distribución de la región Cusco, en las cuales las pequeñas centrales no llegan a cubrir la demanda eléctrica requerida por el crecimiento industrial, tecnológico y poblacional</p> <p>Formulación del problema</p> <p>¿Cuáles son los efectos de incorporar la Generación Distribuida en la operación de una red eléctrica inteligente en media tensión en la región de Cusco?</p> <p>¿Cómo puede influir la integración de las energías renovables en cubrir la</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Analizar el impacto de la integración de las nuevas tecnologías de generación distribuida en el sistema eléctrico de distribución de media tensión convencional en la Región Cusco.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Evaluación de la integración de las energías renovables como generación distribuida en las redes de media tensión de un sistema eléctrico en la Región del Cusco.</p> <p>Analizar la operatividad de los alimentadores del sistema eléctrico de Sicuani con y sin generación distribuida con una proyección de demanda al año 2016</p> <p>Proponer un modelo de una red de distribución inteligente para monitoreo a través de una automatización para el alimentador SI-01 de Sicuani que opera con la interconexión de la generación distribuida</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La incorporación de la generación distribuida (GD) a través de las pequeñas Centrales generadoras optimizará el servicio de la calidad de energía eléctrica para los usuarios y la operación del sistema de distribución eléctrica con el uso de las redes inteligentes en la Región del Cusco.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>La integración de las energías renovables como Generación Distribuida, reducirá los niveles de pérdida de energía, mejora los perfiles de tensión de la red de distribución y la calidad en el suministro de la energía eléctrica.</p> <p>La adecuada gestión de la demanda al 2016, permite predecir el comportamiento de la red en el horizonte de estudio con la integración de la generación distribuida</p> <p>Con la integración de generación distribuida y redes inteligentes en sistemas de distribución en media tensión se podrá automatizar la</p>	<p>Variables Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Variables Dependientes - Calidad - Confiabilidad - Eficiencia - Nivel de tensión <p>Variables independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Variables independientes - Demanda <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Calidad - Tensión - Factor de potencia ➢ Confiabilidad - Cargabilidad de las líneas - Índice de interrupciones ➢ Eficiencia - Potencia - Pérdidas técnicas ➢ Nivel de tensión - Alta tensión - Media tensión - Baja tensión ➢ Demanda - Energía 	<p>La presente tesis de investigación corresponde al método científico, debido a que el estudio está basado en aplicaciones con el uso de una serie de instrumentos adecuados y pertinentes al caso de investigación científica</p> <p>Tipo de investigación es una Investigación aplicada ya que busca medir y cuantificar las variables a través de la herramienta informática del software DigSILENT 15.1.2 Power Factory, que permite realizar simulaciones con aplicación de flujo de carga al sistema eléctrico de Sicuani,</p>	<p>Nivel de investigación es descriptivo porque describe la situación actual de las energías renovables frente a las generaciones convencionales, para dar una aplicabilidad al sistema eléctrico de Sicuani, identificando la problemática que existe en la operación del sistema, además es explicativo y cuantitativo porque se busca del porqué del fenómeno y buscando las variables en estudio, para medir y cuantificar a través de un método científico de proceso que se valida con el Software DigSILENT 15.1.2 Power Factory, para la comprobación de la hipótesis, simulación y obtención de resultados para llegar a las conclusiones finales.</p> <p>La máxima demanda actual del sistema Sicuani llega a 8.407 MW, con la incorporación de las pequeñas centrales generadoras de Hercca y Langui no llega a cubrir la demanda requerida, puesto que la potencia generada es de 4.27 MW, y el faltante se llega a cubrir con la transferencia de potencia del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional</p> <p>La evaluación operativa para el alimentador SI-01 teniendo en cuenta la interconexión de las dos Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de Hercca y Langui, para los dos escenarios se obtiene una demanda máxima despachada de 1.201 MW, y las pérdidas de potencia activa con GD alcanza un valor 0.103 MW que significa 8.576% a</p>



	<p>demanda eléctrica requerida por la red del sistema eléctrico la región Cusco?</p> <p>¿Cuáles serían las mejoras técnicas en las redes de Distribución de Media tensión del sistema eléctrico de Sicuani con la incorporación de la generación distribuida?</p> <p>¿Cómo se puede plantear un perfil de modelo de redes inteligentes en los alimentadores del sistema eléctrico de Sicuani?</p>	<p>ante fallas externas con indicadores de SAIFI Y SAIDI</p>	<p>operación segura frente a las faltas que se pueden presentar en el alimentador SI-01, los cuales reducirán los costos por compra y venta de energía eléctrica a favor de los usuarios y de la empresa de distribuidora</p>	<p>Nivel de Investigación es descriptivo porque se hace un diagnóstico actual del sistema eléctrico Sicuani, y identifica la problemática de la operatividad del sistema eléctrico de Sicuani</p> <p>• Técnicas</p> <p>Recolección de Datos</p> <p>Las técnicas que se utilizaron son: observación (investigación de campo), entrevistas y análisis documental.</p> <p>La obtención de datos se ha recurrido a la base de datos histórica que posee (Electro Sur Este S.A.A).</p> <ul style="list-style-type: none"> - ArcGis 10 - Digsalent15.1.2 - Microsoft Office Exel 2007 - SQL Server 2000 	<p>diferencia de las pérdidas sin GD es de 0.126 MW que significa 10.491% del total de la demanda de este alimentador, lo cual muestra la gran diferencia con la integración de la Generación.</p> <p>El perfil de tensión en el sistema Canchis mejora con la incorporación de la generación distribuida, teniendo caídas de hasta 2.302% considerando la GD y 5.677% Sin GD y la cargabilidad de las líneas en el alimentador SI-01 disminuye para una operación con generación distribuida 14.314% y para el escenario sin generación distribuida es de 19.511%.</p> <p>Para los datos de Saifi de los alimentadores de la red de Sicuani obtuvieron los resultados, con generación distribuida 5.236 y sin generación distribuida de 7.559, de igual manera sucede con los datos Saidd, con GD 7.136 y sin GD 9.561,</p> <p>Se propone un perfil de un nuevo modelo de una red de distribución inteligente que transforma la concepción de la red eléctrica convencional permitiendo la participación activa de los consumidores, el ingreso de nuevos agentes, tener una red con autonomía operativa, utilizar eficientemente los activos de la red para monitoreo a través de una automatización para los diferentes alimentadores de Sicuani, en particular SI-01 que cuenta con generación distribuida ante fallas externas con indicadores de SAIFI Y SAIDI.</p>
--	---	--	--	---	---



DIGSILENT

PowerFactory 15

ANEXO B:



Software:

DIGSILENT

PowerFactory 15.1.2



TRANSMISSION | DISTRIBUTION | INDUSTRIAL | DISTRIBUTED GENERATION



DIgSILENT PowerFactory 15.1.2

1. Características del programa

El DIgSILENT Power Factory es una herramienta integrada para el análisis de sistemas eléctricos de potencia caracterizando técnicas confiables y flexibles de modelado y algoritmos. Ha sido desarrollado con la nueva tecnología de programación orientada a objetos y lenguaje de programación C++. Logra el mejor compromiso entre flexibilidad ilimitada y requerimientos de fácil manejo, siendo completamente compatible con Windows 7, 8 y 10 en 32 y 64 bits.

2. Funciones principales y espacio de trabajo

a. Funciones

- Flujo de potencia AC/DC
- Análisis de Corto Circuito VDE/IEC
- Fallas generales/Análisis de Eventos
- Simulación dinámica (RMS)
- Simulación de Transitorios Electromagnéticos EMT
- Análisis de Eigenvalores
- Reducción de redes
- Coordinación de Relés de protección
- Chequeo de la respuesta de unidades de Protección
- Análisis Armónico
- Cálculo de Confiabilidad
- Despacho Económico
- Interfases SCADA / GIS
- Lenguajes DSL ++ y DPL
- Diagramas unifilares del sistema modelado
- Diagrama de configuración de subestaciones



- Instrumentos virtuales para visualiza
- Interface A/D Medinas 2000 A/D

Todas estas funciones tienen acceso a una base de datos relacional rápida y común, con un sistema integrado de manejo de casos de estudio y escenarios de sistemas. Algunas características adicionales incluidas:

- Capas múltiples integradas, ventanas múltiples para ver simultáneamente diagramas unifilares u diagramas de subestaciones.
- Generación automática de configuración de subestaciones acorde al manual de la ABB con 5 configuraciones básicas, que pueden ser editadas de acuerdo a las especificaciones requeridas por el usuario.
- El sistema más moderno de ventanas con un administrador de datos integrad (Data Manager).
- Un administrador del sistema, con filosofía de manejo no redundante para la definición de casos de estudio y escenarios del sistema.
- Cálculo de parámetros (OHLs, cables, maquinas, etc.).

b. Espacio de trabajo

El programa utiliza un ambiente de trabajo muy similar al que se utiliza en Windows, las ventanas más importantes se muestran en la Figura 1.

- Ventana principal (1)
- Ventana del administrador de datos (Data Manager) (2)
- Ventana gráfica (3)
- Ventana de salida (4)

También podemos observar la barra de título, la barra del menú principal y la barra de estado. Comencemos por estudiar los submenús que se encuentran en la barra del menú principal.

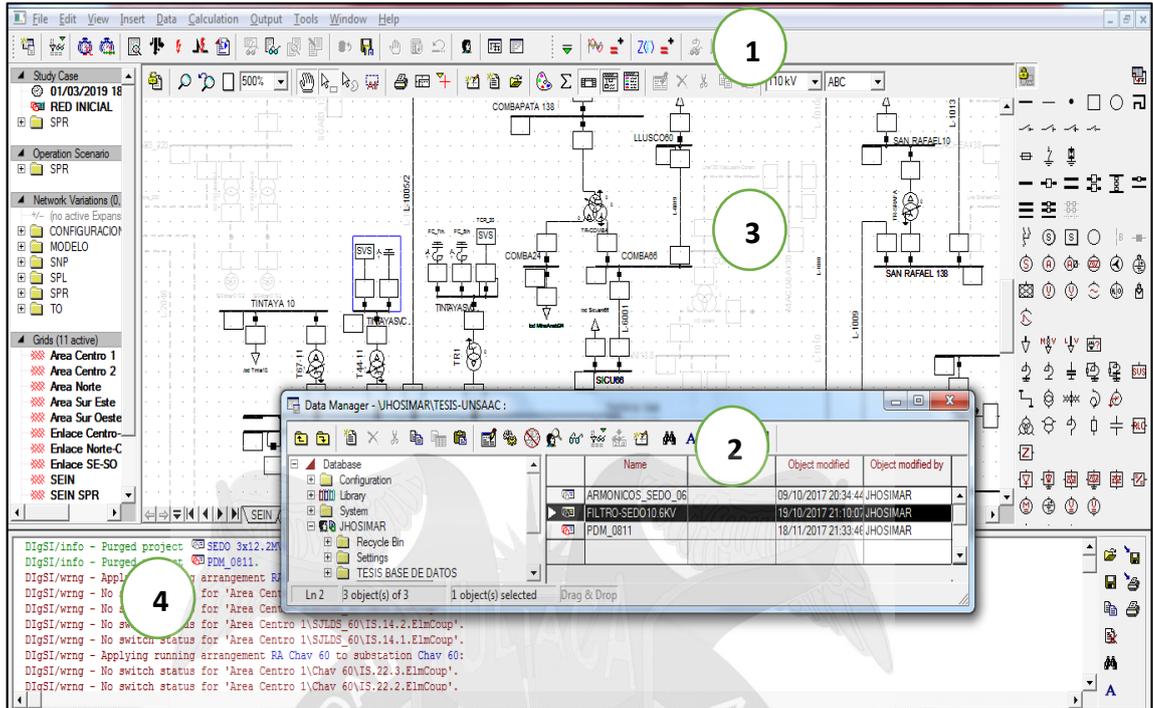


Figura N° 1: Espacio de trabajo

▪ File

En la Figura 2 se observa el despliegue del menú file en el menú principal.

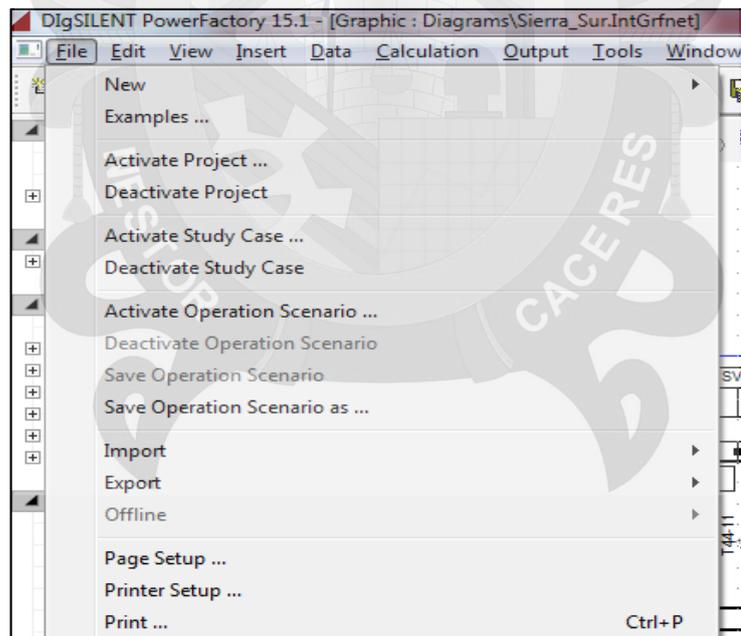


Figura N° 2: Menú file

- Examples

Contiene ejemplos de diversos sistemas (transmisión, distribución) con aplicación de los programas de flujo de carga; análisis de cortocircuito y cálculo de transitorios.

- **Activate Project, Desactivate Project**

Activa o desactiva proyectos que ya se encuentran en la base de datos del DigSILENT

- **Import, Export**

Funciones para exportar e importar los archivos generados (*.dz o *.pfd). Con esto se puede mantener un backup de la información generada o poder realizar el intercambio de información, en el evento de no tener una base de datos centralizada.

- **Study Case**

Edita el caso de estudio activo. En esta opción es posible: cambiar el nombre, mirar el contenido del caso de estudio, saber cuántas áreas y escenarios están asociados al caso de estudio activo y definir los prefijos de las unidades (Voltios, Amperios y Voltiamperios).

- **Edit**

En la Figura 3 se observa el despliegue del menú Edit.

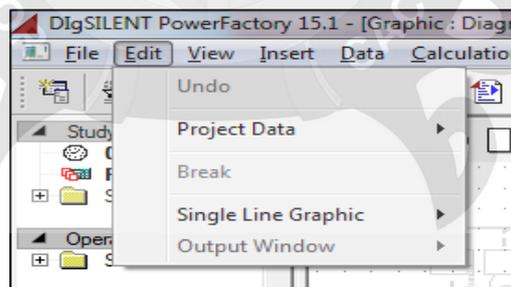


Figura N° 3: Menú Edit

- **Single Line Graphic**

Se tiene acceso a las propiedades de los diagramas unifilares de los casos que se encuentren activados y a funciones como copiar, cortar, pegar, deshacer, borrar y seleccionar.

- **Proyect Data**

Para definir áreas nuevas de trabajo (grids) o casos nuevos de estudio en el proyecto activo.

▪ **Calculation**

En la Figura 4 se puede observar el despliegue del menú Calculation.

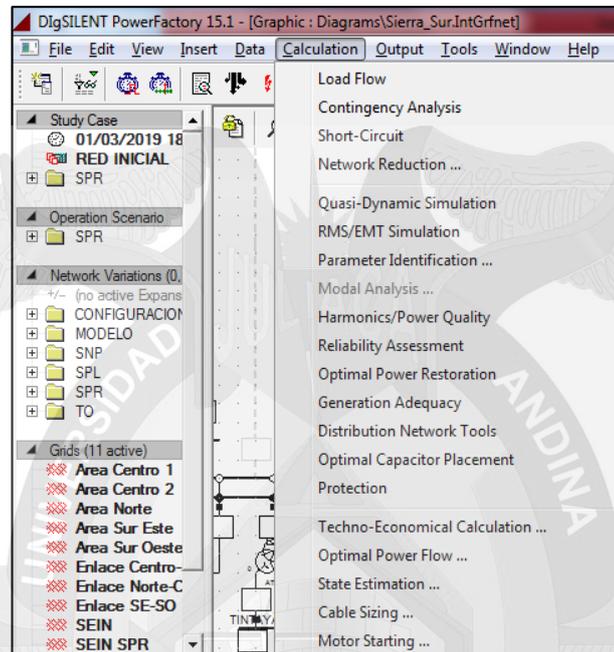


Figura N° 4: Menú calculation

En este menú se encuentran las principales funciones del software DigSILENT PowerFactory, en este caso describiremos las opciones más importantes.

- **Load Flow**

Con esta opción se accede a la pantalla flotante del flujo de carga y sus opciones respectivas, por ejemplo: Flujo de carga con dependencia de la

tensión, adaptación automática de modelos, sistemas balanceados o desbalanceados, ajuste automático de taps de transformadores, etc.

- **Short Circuit**

Acceso a la pantalla flotante del módulo de análisis de fallas y las funciones respectivas, por ejemplo: Método de solución y cálculo de las fallas (IEC,

VDE), barras bajo falla, tiempo de interruptores, corrientes de corto, factores de corrección por tensión, consideración de motores, etc.

- **Stability**

Para acceder a las funciones propias del módulo de estabilidad, como son: la comprobación de las condiciones iniciales, la definición de los tiempos de arranque y paro de la simulación, análisis modal u de identificación de parámetros.

- **Harmonics**

Acceso a la máscara flotante del módulo de Armónicos, con funciones particulares como por ejemplo: Cálculo de THD bajo las normas IEEE o DIN, característica de Impedancia – Frecuencia, distribución de las fuentes de tensión – corriente de armónicos.

▪ **Data**

En la Figura 5 se puede observar el despliegue del menú Data.

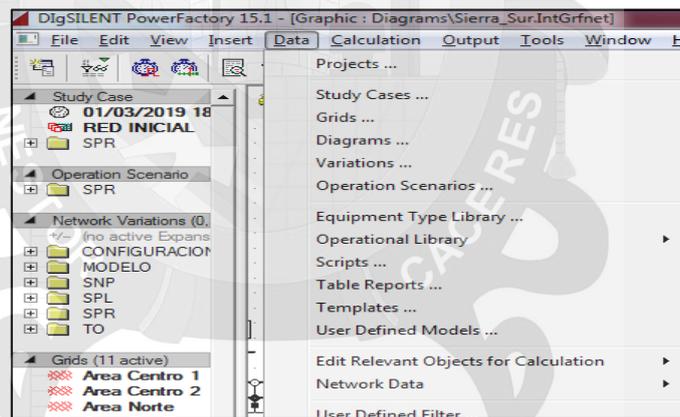


Figura N° 5: Menú Data

▪ **Output**

En la Figura 6 se puede observar el despliegue del menú Output.

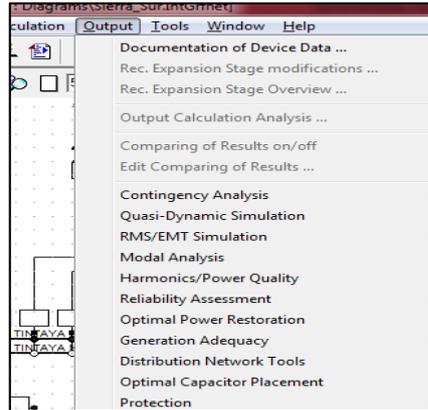


Figura N° 6: Menú Output

- **Window**

En la Figura 7 se puede observar el despliegue del menú Window.

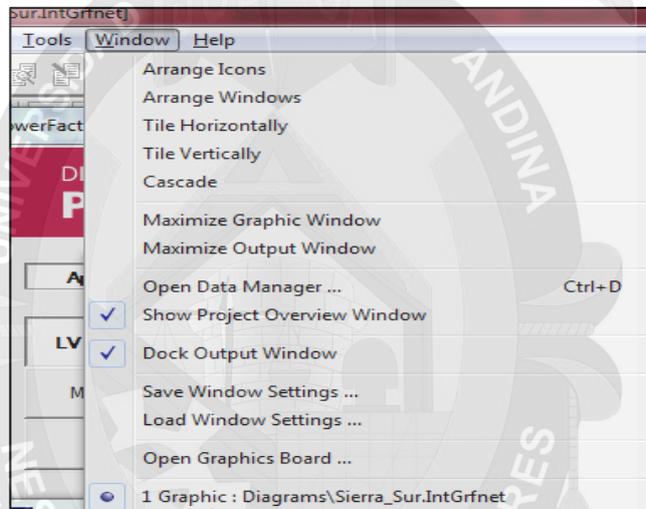


Figura N° 7: Menú Output

Para el manejo de las ventanas en la plataforma de trabajo, personalización de los iconos y espacio de trabajo se emplean las funciones dentro del menú: ARRANGE ICONS, ARRANGE WINDOWS, TILE HORIZONTALLY, TILE VERTICALLY, CASCADE, son comandos esencialmente para organizar las ventanas y su distribución dentro del espacio de trabajo.

- **Save Workspace**

Para salvar una distribución particular del espacio de trabajo definida por el usuario.

▪ Help

En la Figura 8 se puede observar el despliegue del menú Help.

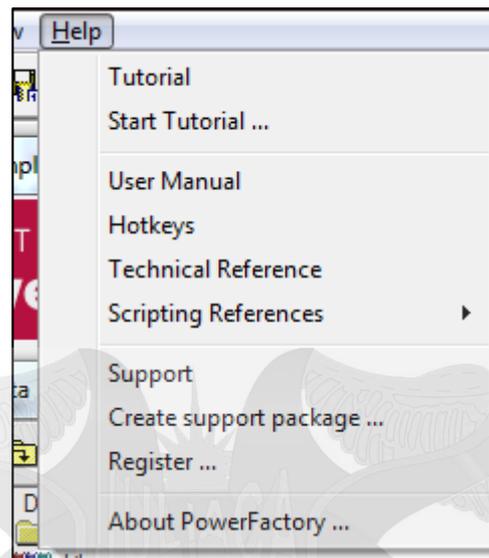


Figura N° 8: Menú Help

El menú Help nos permite encontrar apoyo sobre el uso del software, así como permitir:

- Permite el acceso directo al material de ayuda en línea para el usuario inicial.
- Acceder al manual del usuario básico.
- Acceder a la ayuda en línea, sobre el soporte técnico de los distintos tópicos del programa. Por ejemplo: funciones de cálculo, modelación de subestaciones, modelos de elementos, etc.
- Acceso a la respuesta de algunas de las preguntas más recientes que se presentan al comenzar la interacción con el programa.
- Abre una ventana que presenta información correspondiente a la versión del programa que está siendo empleada, los derechos de autor y los módulos disponibles en la versión que se está trabajando. Además nos puede dar información acerca de si estamos en modo DEMO VERSION; es decir, si el programa no pudo leer la licencia.

3. Administración de la información



Los sistemas de potencia eléctricos se caracterizan por estar acompañados de muchos elementos los cuales a su vez contienen o están definidos por muchas variables internas. El objetivo del Data Manager es facilitar la administración de la información a los usuarios finales, es por eso que tiene definida una estructura jerárquica de información, en la cual se identifican las siguientes secciones principales.

- Examples
- System
- User

Dentro de las carpetas Examples se resaltan los ejemplos de sistemas de transmisión AC y DC, sistemas de distribución, protecciones, armónicos y estabilidad. La carpeta contiene subcarpetas como Librería, papelería de reciclaje, formatos, settings y otras, las cuales contienen información básica para el funcionamiento del programa. En la carpeta usuario se espera que sean administrados los casos desarrollados y en el cual puede estar contenida la base de datos desarrollada por el usuario del sistema.

▪ **Administración de los proyectos**

Un buen concepto sobre manejo de información y ejecución de estudios requiere básicamente los siguientes ítems:

- Definición de casos bases de un sistema eléctrico de potencia.
- Cuando son requeridas divisiones de áreas eléctricas del sistema, tener muy claras las pautas para la generación de dichas divisiones.
- Crear los casos de estudio que sean necesarios asociando los resultados particulares que se requieran a los elementos eléctricos en la red.
- Activar los casos de estudio y realizar la ejecución de los módulos del programa.
- Generar los reportes necesarios para el análisis y presentación de resultados.



- **Administración de los proyectos**

Por System Stage dentro del DlgSILENT Power Factory se entiende la modificación hecha sobre una red eléctrica (Grid), la cual toma en principio la topología de datos de la red original. Se puede decir que un System Stage es una derivación de la red inicial. Esta modificación puede ser una expansión o disminución de la red (entrada o salida de elementos), una variación en la demanda, cambio de parámetros de un elemento, etc. Para crear un System Stage se procede ubicando el cursor sobre la red eléctrica seleccionada para este efecto y con un click derecho se despliegan las opciones, seleccionando New / System Stage

- **Creación de un nuevo caso de estudio**

Al crear un nuevo proyecto por defecto el DlgSILENT Power Factory crea un caso de estudio. Como se describió anteriormente, uno de los componentes del caso de estudio es el Summary Grid (Resumen de redes), el cual contiene las redes que se solucionarán en los distintos módulos del programa. Para la creación de un nuevo caso de estudio, se ubica el puntero sobre el proyecto y con un click derecho se despliegan las distintas opciones utilizando New / Study Case. A este nuevo caso de estudio se le asignan los System Stage generados dentro de las redes originales, los cuales constituyen un caso con la topología de la red inicial y una proyección de demanda. Con este caso activado y al correr flujo de carga se pueden observar sobrecargas en los elementos.

Para solucionar esto, es necesario hacer los refuerzos en transformación identificados en los flujos de carga anteriores, los cuales son a su vez una modificación sobre el sistema original (sistema con proyección de demanda). Así es necesario generar un nuevo System Stage dentro del ya creado, para realizar en ellos los refuerzos de transformación necesarios. Para solucionar estas redes es necesario generar un nuevo caso de estudio, el cual tendrá en su Summary Grid los últimos System Stages generados.

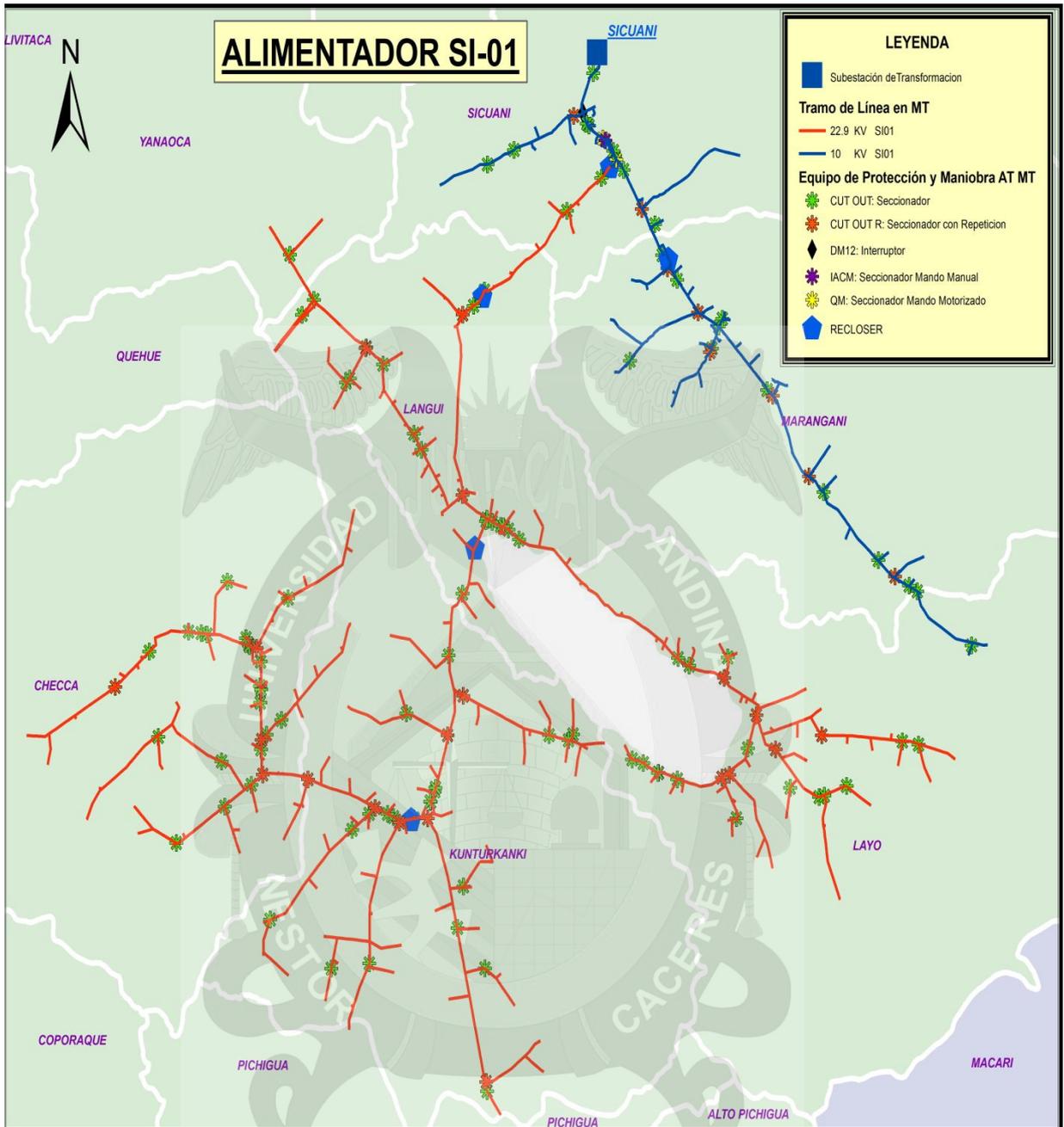


ANEXO C:

ARGIS 10

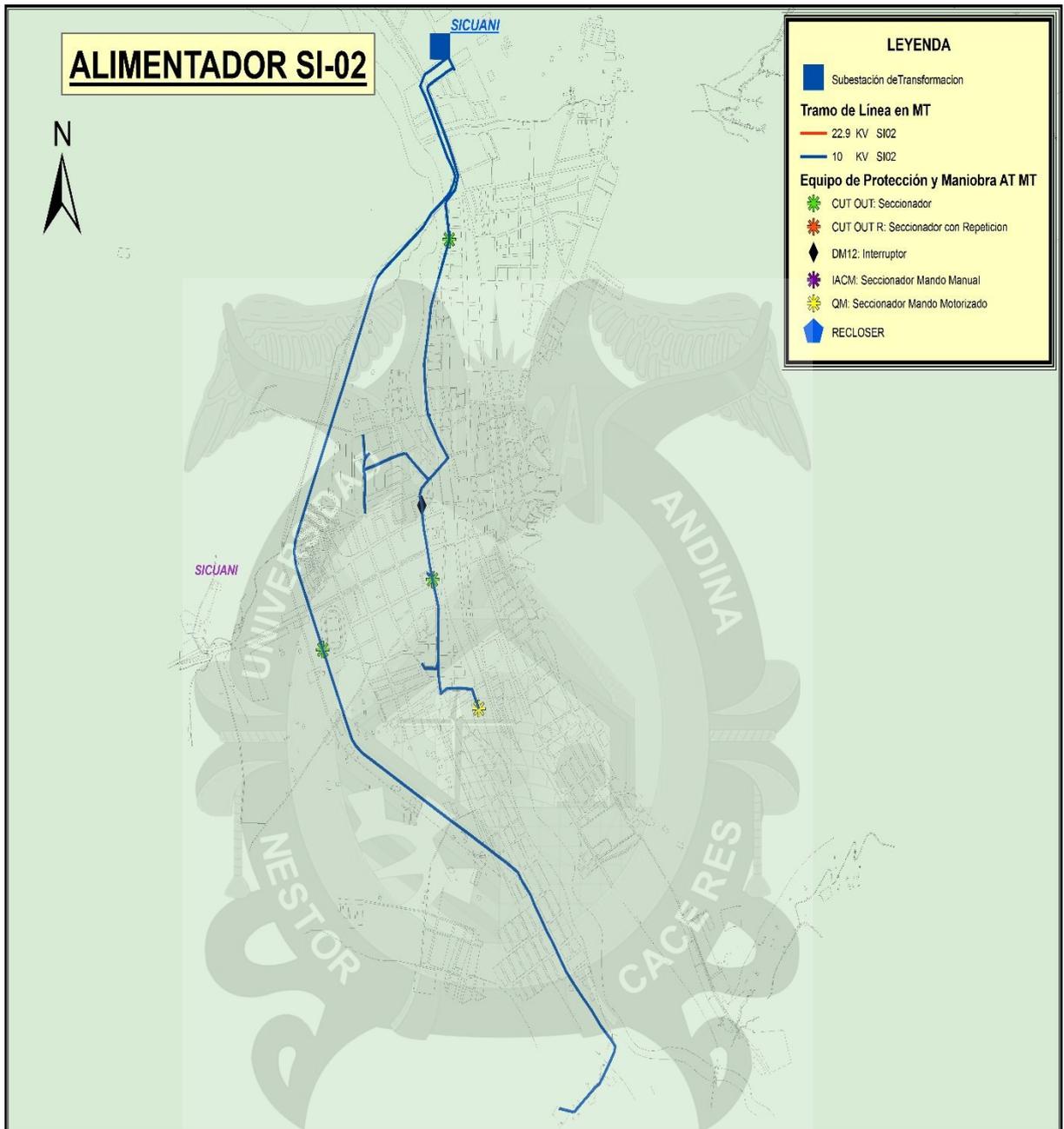
DIAGRAMAS UNIFILARES CON EQUIPAMIENTO DE
PROTECCIONES CON APLICACIÓN DEL
SOFTWARE ARC GIS 10.0

ALIMENTADOR SI-01



Fuente: Elaboración Propia con DigSILENT

ALIMENTADOR SI-02



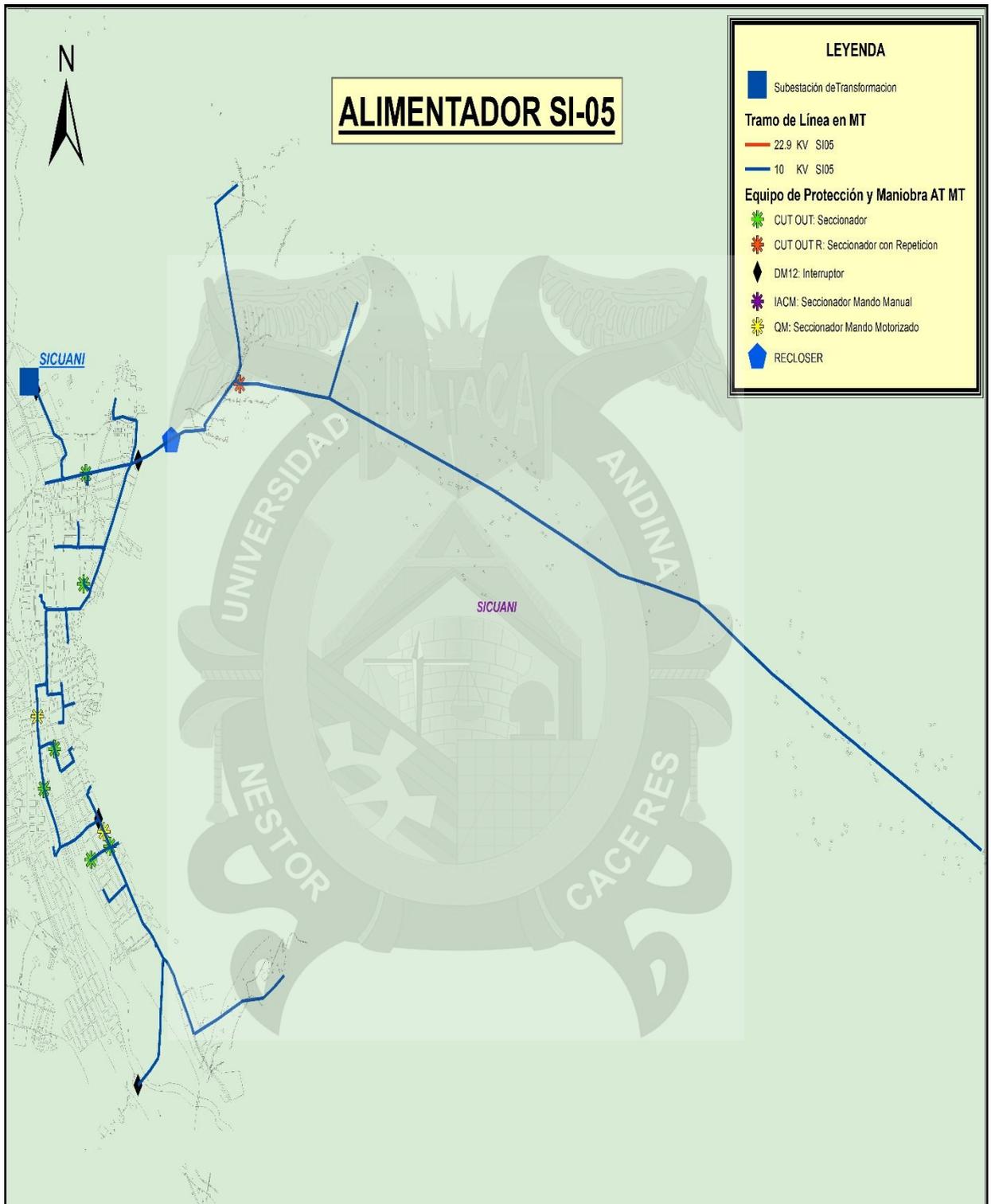
Fuente: Elaboración Propia con DigSILENT

ALIMENTADOR SI-03



Fuente: Elaboración Propia con DigSILENT

ALIMENTADOR SI-05



Fuente: Elaboración Propia con DigSILENT



ANEXO D:



MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Unidad de Coordinación de Cooperación Técnica y Financiera - UCCTF

Ministerio de Economía y Finanzas - MEF

Banco Interamericano de Desarrollo

Programa para la Gestión Eficiente y Sostenible de los Recursos
Energéticos del Perú (PROSEMER)

Componente III: Promoción de Energías Renovables y Eficiencia
Energética

PROPUESTA DE MARCO NORMATIVO PARA EL DESARROLLO DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES Y GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL PERÚ

Consultor: EDF INTERNATIONAL NETWORKS SAS

Contrato N° F-034-13202

Lima, 14 de septiembre de 2017

PROPUESTA DE MARCO NORMATIVO PARA EL DESARROLLO DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES Y GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL PERÚ