

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**INTEGRACION DE ENERGIA RENOVABLE COMO
GENERACION DISTRIBUIDA EN REDES ELECTRICAS
INTELIGENTES DE MEDIA TENSION EN LA CIUDAD DE
SICUANI-2018**

PRESENTADO POR:

Br. DINO LEONCIO DUEÑAS CAHUA
Br. ROYER ROBERTO MAMANI QUISPE

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Dr. EDGAR ZACARIAS ALARCÓN
VALDIVIA

CUSCO – PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: INTEGRACION DE ENERGIA RENOVABLE COMO GENERACION DISTRIBUIDA EN REDES ELECTRICAS INTELIGENTES EN MEDIA TENSIÓN EN LA CIUDAD de SICUANI - 2018

Presentado por: ROYER ROBERTO MARANI QUISPE DNI N° 47182933

presentado por: DINO LEONCIO DUEÑAS CAHUA DNI N°: 44258799

Para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRICISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 08%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 25 de AGOSTO de 2025


.....
Firma

Post firma EDGAR ZACCARIAS MARCON VALDIVIA

Nro. de DNI 23821021

ORCID del Asesor 0000-0002-9168-7535

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:48:6993091

DINO Y ROYER DUEÑAS-MAMANI

INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE COMO GENERACION DISTRIBUIDA EN REDES ELECTRICAS INTELIGENTES DE MED

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:486993091

Fecha de entrega

25 ago 2025, 9:44 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

25 ago 2025, 9:59 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

DINO DUEÑAS - ROYER MAMANI-TUR.pdf

Tamaño del archivo

4.0 MB

188 páginas

27.794 palabras

159.158 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
334 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dr. EDGAR ZACARIAS ALARCÓN VALDIVIA
DNI N.º 23821021
ASESOR

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Pablo Oliverio Mamani y Tomasa Quispe, por la comprensión, amor y apoyo incondicional en este proyecto de vida que sin su apoyo no hubiera sido posible.

A mis padres Leoncio Dueñas y Justina Cahua, por la comprensión y apoyo incondicional que nos brindaron, por sus sabias enseñanzas y amor inconmensurable.

AGRADECIMIENTO

A través de estas líneas expresamos nuestro profundo agradecimiento a las personas de mi entorno e instituciones que participaron de una u otra manera en la elaboración de esta tesis.

A nuestra familia por su esfuerzo, amor y dedicación para entregarnos siempre lo mejor, en especial por las enseñanzas que nos dieron, proveyéndonos de herramientas para alcanzar nuestros objetivos personales y profesionales.

A nuestro asesor Msc. Edgar Alarcón Valdivia, por el asesoramiento de la tesis, por la gran ayuda, dedicación y orientación en el desarrollo de la misma. También a las instituciones Electro Sur Este y Central Hidroeléctrica de Langui S.A. por la oportunidad brindada como tesisistas, al proporcionarnos datos referenciales, sin los cuales mucho de lo desarrollado en este desafío no hubiese sido posible.

PRESENTACIÓN

Señor Decano y señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica y distinguidos Miembros del Jurado.

Acatando la norma vigente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Mecánica y Minas, de nuestra primera casa de estudios, presentamos a vuestro juicio el presente estudio titulado “INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES ELECTRICAS INTELIGENTES DE MEDIA TENSION EN LA CIUDAD DE SICUANI-2018”, para optar el título profesional de Ingeniero Electricista.

GLOSARIO

AMT	Alimentador de Media Tensión
SE	Sistema Eléctrico
SI 01	Alimentador de Media Tensión Sicuani 01
SI 02	Alimentador de Media Tensión Sicuani 02
MT	Media Tensión
AT	Alta Tensión
SET	Subestación de Transformación
ELSE	Electro Sur Este
CNE	Código Nacional de Electricidad
SED	Subestación de Distribución
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
COES	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
DAC	Dentro del Área de Concesión
NTCSE	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
SAIFI	Sistem Average Interruption Frequency Index
SAIDI	Sistem Average Interruption Duration Index
IEC	International Electrotechnical Commission
ANEEL	Agencia Nacional de Energía Eléctrica
SID	Sistema Integrado de Distribución

RESUMEN

Los sistemas eléctricos de distribución en la región del Cusco, en la actualidad se encuentran centralizados y experimentan cambios muy importantes, la tendencia a futuro se orienta hacia los sistemas energéticos de generación distribuida(GD), podemos ver, sistemas emergentes empleando las energías renovables, así como ideas innovadores con el continuo avance de la tecnología, trayendo consigo nuevas tendencias que en la actualidad van más relacionados a la producción industrial y el continuo crecimiento demográfico en la ciudad, que pertenece al sistema eléctrico Sicuani de la empresa concesionaria Else S.A.A. En el cual se evaluará las condiciones de las instalaciones eléctricas de distribución, del mismo modo la operación del sistema eléctrico Sicuani, con y sin generación distribuida (GD), donde se ha determinado bajos niveles de confiabilidad en el sistema eléctrico, observándose pérdidas de energía, trayendo como resultado mala calidad de suministro.

El presente estudio, plantea realizar una investigación referida la operación del sistema eléctrico Sicuani, consiguientemente se propone medidas sustanciales para mejorar los índices de la calidad de suministro, identificando factores que intervienen en una eficiente operación energética orientada a la generación distribuida (GD), concluyéndose que, con la integración de GD, y un sistema de medición inteligente, implementando tecnología de almacenamiento y lecturas de parámetros de la línea de distribución, brindaran mayor eficiencia en la explotación de la energía alternativa como es el caso de la generación distribuida(GD), además permitirán una alta eficacia operativa con la implementación de la GD de las minicentrales hidroeléctricas Hercca y Langui en el sistema eléctrico Sicuani.

Palabras clave: Sistemas de Distribución, Generación Distribuida, Confiabilidad del Sistema Eléctrico, sistemas inteligentes.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
PRESENTACIÓN	IV
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	VI
INDICE DE TABLAS	XII
INDICE DE FIGURAS	XV
CAPÍTULO I.....	1
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.2. <i>Problema</i>	4
1.2.1. Descripción del Problema	4
1.3. <i>Formulación del Problema</i>	5
1.3.1. Problema General.	5
1.3.2. Problemas específicos.....	5
1.4. <i>Justificación de la Investigación</i>	5
1.5. <i>Objetivos</i>	6
1.5.1. Objetivo General.	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
1.6. <i>Alcances y Limitaciones del Estudio</i>	7
1.6.1. Alcances.....	7
1.6.2. Limitaciones	8

1.7. Hipótesis y Variables	8
1.7.1. Hipótesis General	8
1.7.2. Hipótesis Específicas	8
1.7.3. Variables e Indicadores	9
1.8. Metodología.....	10
1.8.1. Características De La Investigación	10
1.8.2. Población y Muestra.....	11
1.8.3. Técnicas de Recolección de Datos	11
1.8.4. Procesamiento de Datos.....	11
1.9. Matriz de consistencia.....	12
CAPÍTULO II	13
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	13
2.1. Antecedentes de la Investigación.	13
2.1.1. Antecedente 1: Tesis de Grado.....	13
2.1.2. Antecedente 2: Iniciativas Principales de Redes Inteligentes y Generación Distribuida en el Mundo. 16	
2.1.3. Antecedente 3: Nivel Nacional y Regional.....	22
2.1.4. Antecedente 4: Principales países latinoamericanos inductores para la implementación de Smart Grid de acuerdo a su diversidad potencial.	24
2.2. Marco Teórico.	25
2.2.1. Introducción	25
2.2.2. Rango de Potencia de Generación Distribuida.....	27
2.2.3. Generación Distribuida (Gd) y sus Características	28
2.2.4. Generación Distribuida e Integración de Energías Renovables	32
2.2.5. Micro Redes y la Integración de las Energías Renovables	35

2.2.6. Redes Inteligentes o Smart Grids	40
2.2.7. Marco Normativo para Generación Distribuida y Smart Grid.	43
2.3. <i>Marco Conceptual</i>	43
2.3.1. Definición de Generación Distribuida (GD)	43
2.3.2. Microrredes Eléctricas	45
2.3.3. Gestión de la Demanda y Eficiencia Energética.....	46
2.3.4. El Medidor Inteligente	48
2.3.5. Redes Inteligentes o Smart Grid: ¿Qué son las Redes Inteligentes?	49
CAPITULO III	54
3. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA SICUANI	54
3.1. <i>Introducción</i>	54
3.2. <i>Descripción y Diagnóstico del Sistema Eléctrico Sicuani</i>	54
3.2.1. Subestación de Sicuani.....	54
3.2.2. Alimentadores del Sistema Sicuani	57
3.3. <i>Subestación de Combapata</i>	65
3.3.1. Alimentadores del Sistema Combapata	65
3.4. <i>Fuentes de Generación Eléctrica Distribuida en el Sistema Eléctrico Sicuani.</i>	69
3.4.1. Descripción de la Pequeña Central Hidroeléctrica Hercca	69
3.5. <i>Descripción de la Pequeña Central Hidroeléctrica Langui</i>	75
3.6. <i>Condiciones de Operación Eléctrica en la Provincia de Canchis</i>	80
3.7. <i>Máxima y Mínima Demanda de los Alimentadores Pertenecientes al Sistema de Canchis Sin y Con Gd</i>	80
CAPÍTULO IV	81

4. ANÁLISIS DE OPERATIVIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE SICUANI CON LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA 2018.....	81
4.1. <i>Introducción</i>	81
4.2. <i>Descripción de Operación del Sistema Eléctrico Sicuani</i>	81
4.3. <i>Ámbito Geográfico</i>	82
4.4. <i>Mercado Eléctrico</i>	84
4.4.1. <i>Proyección de la Demanda al año 2018</i>	85
4.4.2. <i>Métodos de Proyección</i>	86
4.5. <i>Descripción del Sistema Área Sur Este</i>	87
4.6. <i>Funcionamiento de la Si-01, Año 2018 con Digsilent Pow. Fact.</i>	91
4.6.1. <i>Escenario de Máxima Demanda con y sin Generación Distribuida al Año 2018</i>	94
4.7. <i>Efectos de la Implementacion de la Gd en el Sistema Eléctrico Sicuani</i>	104
4.7.1. <i>Efectos de la GD en un Horizonte de Operación al Año 2018</i>	104
4.8. <i>Opciones de Solución para los Horizontes de Operación al Año 2018</i>	106
CAPÍTULO V.....	111
5. PROPUESTA DE GUÍA PARA LÍNEAS INTELIGENTES CON EL FIN DE OPTIMIZAR LA CALIDAD DE ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	111
5.1. <i>Introducción</i>	111
5.2. <i>Calidad De Suministro</i>	111
5.2.1. <i>Indicadores de Calidad de Suministro</i>	112
5.3. <i>Evaluación De Interrupciones Del Suministro Eléctrico En Sistema Electrico Sicuani</i>	114
5.4. <i>Resultados de Analisis de contingencia</i>	114
5.5. <i>Características de las Redes Eléctricas Actuales en MT</i>	118
5.6. <i>Nuevo Modelo Conceptual Centrado En El Cliente</i>	119
5.7. <i>Ámbitos De Aplicación De Una Red Inteligente</i>	119

5.8. <i>Aplicaciones Proyectadas</i>	127
5.9. <i>Tecnologías de Información y Comunicaciones (Tic)</i>	127
5.9.1. <i>Control Remoto de los Equipos del Sistema de Comunicación</i>	128
5.10. <i>Automatización de los Sistemas de Distribución</i>	129
5.11. <i>Porque Automatizar las Redes de Distribución</i>	129
5.12. <i>Algunos Criterios para la Automatización de una Red en Media Tensión</i>	130
5.13. <i>Aplicación De Los Smart Grid En Sistemas De Distribución Sicuani</i>	131
5.14. <i>Análisis De Confiabilidad Con Aplicación De Redes Inteligentes Para Disminuir Índices De Interrupción</i>	136
5.15. <i>Sistema De Telecontrol Inteligente</i>	139
5.16. <i>Seccionalizador Automático Restablecible</i>	140
5.17. <i>Recloser o Interruptor Inteligente</i>	143
5.18. <i>Seccionadores De Repetición o Seccionador de Tres Etapas</i>	144
5.19. <i>Propuesta de Protección Si-01 de S.E. Sicuani</i>	145
5.20. <i>Comentarios Sobre Beneficios de los Smart Grids</i>	149
CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	151
ANEXOS	156

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Ámbito de estudio. S.E. AT/MT y Mini C.H. de ELSE.....	2
Tabla 1-2 Variables dependientes	9
Tabla 1-3 Variables intervinientes	9
Tabla 1-4 Variables independientes	9
Tabla 2-1 Clasificación de generación distribuida por el tamaño de las unidades	28
Tabla 2-2 Elementos de una Microrred.....	46
Tabla 3-1 Análisis de cargabilidad de subestaciones de transformación	56
Tabla 3-2 Datos del transformador de transformación Sicuani	57
Tabla 3-3 Descripción física del alimentador SI-01	57
Tabla 3-4 Descripción física del alimentador SI-02	59
Tabla 3-5 Descripción física del alimentador SI-03	61
Tabla 3-6 Descripción física del alimentador SI-05	63
Tabla 3-7 Datos del transformador de transformación de Combapata	65
Tabla 3-8 Descripción del alimentador CO-01	66
Tabla 3-9 Descripción del alimentador CO-02	66
Tabla 3-10 Descripción del alimentador CO-03	67
Tabla 3-11 Descripción del alimentador CO-04	68
Tabla 3-12 Descripción física del alimentador CO-05	69
Tabla 3-13 Descripción de la pequeña central hidroeléctrica de Hercca grupos de generadores I y II.....	71
Tabla 3-14 Descripción de la pequeña central hidroeléctrica de Hercca grupo de generador III	72
Tabla 3-15 Descripción de la C.H. Langui grupo de generador I.....	76

Tabla 3-16 Descripción de la C.H. Langui grupo de generador II.....	77
Tabla 4-1 SE Sicuani: Demanda de energía eléctrica por alimentador para el año 2018	86
Tabla 4-2 Especificaciones técnicas de los generadores de la C.H Hercca	89
Tabla 4-3 Especificaciones técnicas de los generadores de C.H. Langui	90
Tabla 4-4 Condiciones de Operación del Alimentador SI-01 con GD(Minicentrales Hidricas)	94
Tabla 4-5 Condiciones de Operación del Alimentador SI-01 sin GD	95
Tabla 4-6 Condiciones de Operación del alimentador de media tensión SI-02 con GD(Mini centrales Hidraulica)	98
Tabla 4-7 Condiciones de Operación del alimentador de media tensión SI-02 sin GD(Mini centrales Hidraulica)	99
Tabla 4-8 Condiciones de Operación del AMT SI-03 con GD(Mini centrales Hidraulica) .	100
Tabla 4-9 Condiciones de Operación del AMT SI-03 con generacion distribuida.....	101
Tabla 4-10 Condiciones de Operación de SI-05 con generación distribuida.....	102
Tabla 4-11 Condiciones de Operación de SI-05 sin generación distribuida.....	103
Tabla 4-12 Perdidas de potencia por alimentador del sistema Sicuani 2018.....	104
Tabla 4-13 Tensiones críticas por alimentador del sistema Canchis 2018	105
Tabla 4-14 Cargabilidad máxima por alimentador del sistema Canchis 2018	105
Tabla 4-15 Flujo de corrientes por alimentador del sistema Sicuani 2018.....	106
Tabla 4-16 Proyectando la repotenciación de C.H. Langui y Hercca fecha 2018 aplicando GD	109
Tabla 4-17 Proyectando C.H. de Langui y Hercca fecha 2018 no aplicando GD (SEIN)....	109
Tabla 5-1 Límite de interrupciones	115
Tabla 5-2 Resumen de SAIFI.....	116

Tabla 5-3 Resumen de SAIDI.....	117
Tabla 5-4 Actores del novedoso proyecto.....	120
Tabla 5-5 Sistema electrico de ELSE	134
Tabla 5-6 Sectores típicos	134

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 diagrama unifilar SE Sicuani	2
Figura 1-2 Diagrama unifilar SE Sicuani	3
Figura 2-1 Generación distribuida española	18
Figura 2-2 Proyectos a futuro de Smart Grid en el Perú.....	23
Figura 2-3 Donde se encuentran ubicados en cuatro cuadrantes los países de América Latina	25
Figura 2-4 Aplicación de redes inteligentes de energía Smart City	26
Figura 2-5 El flujo de energía eléctrica con la incorporación de la generación distribuida ...	27
Figura 2-6 Generación distribuida	29
Figura 2-7 Microrredes	35
Figura 2-8 Esquema general del sistema de micro red	36
Figura 2-9 Circuito completo de la integración de la energía verde.....	37
Figura 2-10 Diagrama bloques de sistema propuesto	38
Figura 2-11 Elementos de una micro-red	39
Figura 2-12 Ejes de desarrollo de las Redes Inteligentes	42
Figura 2-13 Sistema de generación de electricidad con y sin GD	44
Figura 2-14 Esquema de microrred	45
Figura 2-15 Medidor inteligente bidireccional	48
Figura 2-16 Estructura del Medidor. (La línea verde punteada limita los módulos interiores del medidor).....	49
Figura 2-17 Proceso de análisis para implementación de Smart Grid	50
Figura 2-18 Modelo de una Red Inteligente	51
Figura 2-19 Componentes de sistema de Smart Grid	52

Figura 2-20 Tecnologías de Smart Grid	52
Figura 3-1 Extensión de alimentador de media tensión SI-01	58
Figura 3-2 Extensión del alimentador de media tensión SI-02.....	60
Figura 3-3 Extensión del alimentador de media tensión SI-03.....	62
Figura 3-4 Extensión del alimentador de media tensión SI-05.....	64
Figura 3-5 Pequeña C.H. Hercca	73
Figura 3-6 Grupo de generadores de la C.H. Hercca.....	73
Figura 3-7 Vista panorámica de C.H. Hercca	74
Figura 3-8 La C.H. Langui.....	78
Figura 3-9 Grupo de generadores de la C.H. Langui.....	78
Figura 3-10 Vista panorámica de la C, H. Langui	79
Figura 3-11 Comportamiento de la demanda SE Sicuani.....	80
Figura 4-1 Ubicación de la GD y el Esquema unifilar SEIN sector Sur-Este	82
Figura 4-2 Cobertura eléctrica Canchis. Planos de ubicación	83
Figura 4-3 C.H de Langui y Hercca - fotografía desde el satélite	84
Figura 4-4 Diagrama unifilar de S.E. Sicuani y las pequeñas C.H. Hercca y Langui	88
Figura 4-5 El Diagrama Unifilar en el programa DIGSILENT Pw Fac	92
Figura 4-6 la S.E. Sicuani SI-01 en el año 2016 con DIGSILENT Pw. Fct.	93
Figura 4-7 Perfiles de Tensión del Alimentador SI-01	96
Figura 4-8 Pérdidas de Potencia del Alimentador SI-01	96
Figura 4-9 Cargabilidad de SI-01.....	97
Figura 4-10 Pérdidas y Máxima Demanda del SI-01 sin / con GD	97
Figura 4-11 Pérdidas y Máxima demanda del AMT SI-02.....	99
Figura 4-12 Pérdidas y Máx. Demanda de SI-03	101
Figura 4-13 Pérdidas y Máx. Demanda - SI-05	103

Figura 5-1 Calidad de suministro 2018 Cusco.....	115
Figura 5-2 Calidad suministro 2018_SAIFI_Cusco	116
Figura 5-3 Calidad suministro 2018_SAIDI_Cusco.....	117
Figura 5-4 La Red: actualidad	118
Figura 5-5 Nuevo modelo de Smart Grid centrado en el cliente	119
Figura 5-6 Esquema ideal	120
Figura 5-7 Área del consumidor	121
Figura 5-8 Área de mercado	122
Figura 5-9 Área del proveedor del servicio	122
Figura 5-10 Área del operación	123
Figura 5-11 Área del sistema.....	124
Figura 5-12 Área de transmisión	124
Figura 5-13 Área de red de distribución	125
Figura 5-14 Diagrama arquitectónico de Smart Grid	126
Figura 5-15 Distribución de Smart grid.....	127
Figura 5-16 Las TICs.....	128
Figura 5-17 Smart Grid a lo largo del tiempo.....	129
Figura 5-18 Automatización para detección de fallas	130
Figura 5-19 Ubicación favorable de GD.....	131
Figura 5-20 Electro Sur Este S.A.A - Área de Concesión (ELSE).....	132
Figura 5-21 Infraestructura Eléctrica de Distribución	133
Figura 5-22 Geolocalización de fallas	135
Figura 5-23 Diagrama unifilar - SI-01	136
Figura 5-24 Ubicación optima de equipos de protección, seccionamiento e indicador de falla	137

Figura 5-25 Capacidad de transferencia de acuerdo a los parametros de SAIDI - SAIFI...	137
Figura 5-26 Algoritmo de indicador de una falla	138
Figura 5-27 Algoritmos para la ubicación óptima de equipos de protección	138
Figura 5-28 Sistema típico de distribución con IF y ESP, con Comunicación.....	139
Figura 5-29 Seccionador automático	140
Figura 5-30 Esquema para protección con seccionador	141
Figura 5-31 Operación del seccionalizador para falla permanente (3 conteos).....	141
Figura 5-32 Sistema De Control Inteligente	142
Figura 5-33 Montaje típico del recloser inteligente.....	143
Figura 5-34 Seccionador de repetición o seccionador de tres etapas	144
Figura 5-35 Alternativas de equipamiento de protección en distribución	145
Figura 5-36 Disposición de los equipos de protección SI-01	146
Figura 5-37 Diagrama unifilar de modelo de redes inteligente AMT SI 01	147
Figura 5-38 Diagrama unifilar de modelo de redes inteligente AMT SI 02 y SI 05	148

CAPÍTULO I

1. Aspectos Generales

1.1. *Introducción*

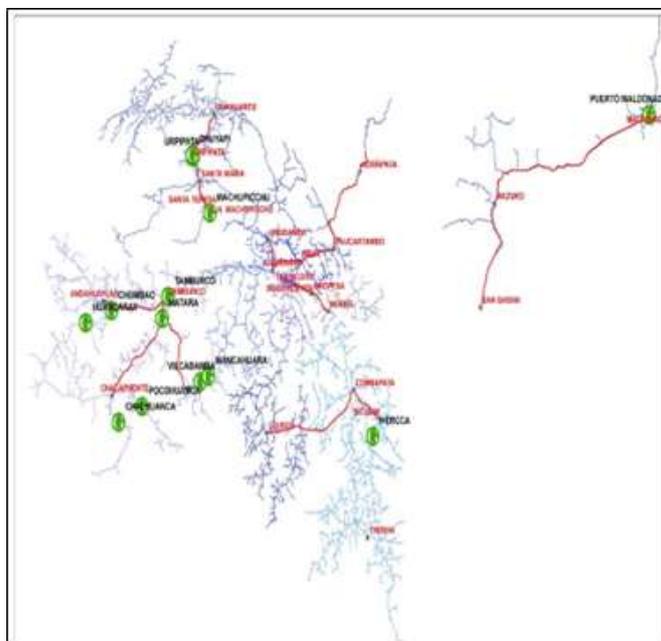
Electro Sur Este S.A.A., concesionaria encargada del suministro de electricidad en las regiones de Apurímac, Madre de Dios y Cusco, donde también operan mini centrales hidráulicas de generación (Generación Distribuida-GD), dentro de su área de concesión.

El presente proyecto de tesis, plantea estudio de coordinación de protección en la línea de Media Tensión, en subestaciones eléctricas de transformación de alta tensión a media tensión (AT/MT) con generación distribuida (GD).

Hoy en día, existen subestaciones eléctricas de transformación de alta a media tensión (AT/MT) a las cuales están conectadas las mini centrales hidráulicas de generación (Generación Distribuida-GD), en la cual existe inconvenientes de selectividad de protección ocasionando interrupciones no programadas del suministro de energía de manera innecesaria.

Figura 1-1

diagrama unifilar SE Sicuani



Fuente: Electro Sur Este S.A.A. Centro de Control

Así mismo las subestaciones con generación distribuida (GD) están en las regiones de Apurímac y Cusco, resumidas en la siguiente tabla 1.1

Tabla 1-1

Ámbito de estudio. S.E. AT/MT y Mini C.H. de ELSE

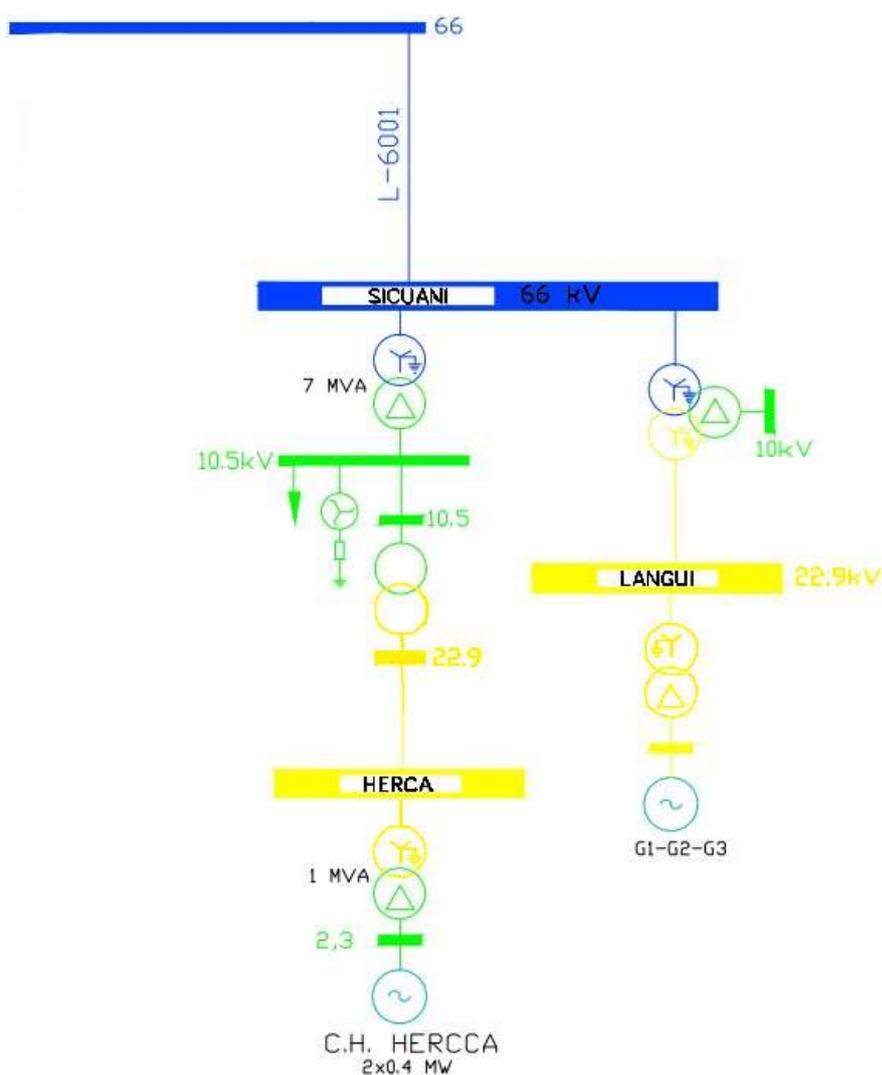
Región	SET (AT/MT)	Código de AMT	Tensión (kV)	Mini Central Hidráulica	P. Nominal (MW)
Apurímac	Andahuaylas	AN04	22.9	Huancaray	0.42
		AN07	22.9	Chumbao	1.9
	Chacapunte	CP01	22.9	Poccohuanca	0.2
		Chuquibambilla	CQ03	22.9	Vilcabamba
	22.9			Mancahuara	1.5
	Tamburco	TA07	22.9	Matara	1.6
22.9			Lambrama	0.1	
Cusco	Sicuani	SI01	22.9	Langui	2.9
			22.9	Hercca	0.9
	Urpipata	UP02	10	Chuyapi	0.98

Fuente: Electro Sur Este S.A.A. – Oficina: Centro de Control

Las subestaciones indicadas en la tabla 1.2 tienen conectados mini centrales (Generación Distribuida-GD) a través de alimentadores de media tensión (MT), donde las mini centrales hidráulicas de Hercca y Langui vienen a ser el ámbito de estudio.

Figura 1-2

Diagrama unifilar SE Sicuani



Fuente: Electro Sur Este S.A.A. – Oficina: Centro de Control

1.2. Problema

1.2.1. Descripción del Problema

Las pequeñas centrales de generación hidráulica que están conectadas en los alimentadores de media tensión (AMT), en este caso ubicado estratégicamente para satisfacer la demanda en la localidad de Sicuani cuando aún era un sector aislado. Después, estas mini centrales hidráulicas se integraron al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), estas incorporaciones se realizaron bajo una estricta evaluación de sus ventajas y desventajas, donde se concluye que estas mini centrales hidráulicas no satisfacen la demanda en caso ocurriera una eventual falla en el tramo de línea MT adyacente a las minicentrales hidráulicas, debido al constante avance tecnológico, desarrollo industrial e incremento de habitantes.

La Generación Distribuida (GD), en el sistema eléctrico Sicuani la subestación de transformación de Sicuani opera esta implementada en la barra donde del alimentador de media tensión SI-01, con la finalidad de obtener un factor de potencia óptimo, evitar sub tensiones en a lo largo de la línea media tensión y minimizar pérdidas.

En la actualidad, las líneas primarias de distribución, son muy extensos por la ubicación demográfica dispersa que presenta el sistema eléctrico (SE) de Sicuani, a consecuencia de estas condiciones se presentan subtensiones y pérdidas potencia a lo largo de la línea media tensión (MT) de la localidad de Sicuani, además según el mapa isoceraúnico, la región del Cusco tiene niveles elevados en descargas atmosféricas estas condiciones climatológicas ocasionan interrupciones no programadas en el normal suministro de energía eléctrica y en temporadas de friaje, se presentan nevadas ocasionando seccionamientos de conductor en redes primarias de distribución en los alimentadores de Media Tensión rurales.

Las infraestructuras que componen la línea de MT tienen un promedio de vida aproximado a 2 décadas y 5 años, este panorama nos lleva a concluir que la mayoría de estos

ya cumplieron su ciclo de vida útil esto origina una preocupación por que las nuevas obras de electrificación y ampliaciones de redes están sujetas a esta infraestructura eléctrica antigua.

Las líneas de media tensión inteligentes con generación distribuida, nos encamina a la implementación de sistemas digitales de medición y respuesta inteligente en la línea de media tensión con el propósito de obtener confiabilidad en el sistema eléctrico de esta manera brindar un servicio de calidad y sin interrupciones del suministro de energía eléctrica todo esto a un costo inferior del que se tiene en la actualidad.

1.3. *Formulación del Problema.*

1.3.1. Problema General.

¿Cuál es el impacto en la calidad de suministro con la implementación de energías renovables como generación distribuida (GD) en la operación de una red eléctrica inteligente de media tensión en la ciudad de Sicuani?

1.3.2. Problemas específicos

- A. ¿Cuál es la situación operativa del sistema eléctrico (SE) antes y después de la implementación de una energía renovable como generación distribuida en el sistema eléctrico Sicuani?
- B. ¿Qué condiciones técnicas se experimentarían en las redes de distribución primaria con la incorporación de energía renovable como generación distribuida (GD)?
- C. ¿De que manera repercute en la cargabilidad de los alimentadores de media tensión (AMT) la implementación redes inteligentes con energía renovable como generación GD?

1.4. *Justificación de la Investigación.*

En la región de Cusco existen mini centrales eléctricas con energías renovables; donde Electro Sur Este S.A.A, es la encargada de suministrar la prestación de electricidad en favor de la población en general.

El constante incremento de la demanda por el ascenso poblacional, mayor solicitud sistemas de utilización por parte de las industrias en la localidad de Sicuani. La distribución de redes eléctricas convencionales de producción centralizada de energía eléctrica, trae como consecuencia la sobrecarga en secciones de línea de distribución, y en algunos casos tensiones fuera de los parámetros permitidos por la NTCSE, mayores pérdidas de potencia por la extensa expansión de las redes de media tensión, interrupciones en el normal suministro de energía eléctrica, por lo que, están en la obligación de realizar nuevos proyectos de inversión pública o privada para la implementación y mejoramiento de nuevas estructuras de distribución, repotenciación de subestación de transformación, con el objetivo de un servicio de calidad y sin interrupciones.

Es muy importante comprender los aspectos técnicos de operación, ventajas, desventajas, los cuales conllevarán la integración de energías renovables como generación distribuida (GD) en sistemas eléctricos de distribución inteligente.

Electro Sur Este S.A.A., es la compañía concesionaria donde se realizan los estudios de la presente tesis, beneficiándose con alternativas de solución para afrontar problemas de subtensiones fuera de la NTCSE, disminuir pérdidas de potencia a lo largo de la extensión de la línea y así ofrecer una asistencia efectiva y con menos interrupciones del suministro de energía eléctrica reduciendo de esta forma las pérdidas económicas por compensaciones y energía no vendida durante las prolongadas interrupciones.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

Mejorar la calidad de suministro mediante la implementación de energías renovables como generación distribuida (GD) en redes inteligentes de media tensión (MT) en la ciudad de Sicuani.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- A. Evaluar la operatividad del sistema eléctrico (SE) en la ciudad de Sicuani antes y después de incorporar energías renovables como generación distribuida (GD).
- B. Analizar las mejoras técnicas en la calidad de suministro en las redes de media tensión (MT) del sistema eléctrico (SE) Sicuani con la implementación de energías renovables como generación distribuida (GD).
- C. Plantear un modelo de redes inteligente con energías renovables como generación distribuida (GD) en el Sistema Eléctrico Sicuani.

1.6. Alcances y Limitaciones del Estudio

1.6.1. Alcances

Analizando las alternativas de solución, buscará las opciones que se tienen para evitar las interrupciones no programadas con la incorporación de energías renovables como generación distribuida (GD).

El estudio pretenderá, realizar una adecuada inyección de energías renovables como generación distribuida en el alimentador de media tensión SI-01 del sistema eléctrico Sicuani que está dentro del área de concesión de Electro Sur Este S.A.A.

El análisis y la evaluación de los equipos de protección se realizará en la subestación de transformación AT/MT Sicuani con generación distribuida. En este punto también se pretende comprender la operación del sistema de protección actual y tomar eventos particulares y conocidos que muestren claramente la problemática.

Para el análisis se propone implementar nuevos ajustes de protección de tal manera que su operación y actuación sean adecuadas para las condiciones actuales de la red, es decir con generación distribuida con un programa computacional (DIgSILENT PowerFactory) realizaremos operaciones simuladas del flujo de carga de la operatividad del sistema eléctrico Sicuani.

1.6.2. Limitaciones

Retraso en el normal desarrollo del plan de tesis por la vigente emergencia sanitaria ocasionada por la Covid 19, donde también visualizamos que no se tiene información detallada de las características de las generadoras existentes y una adecuada aplicación sobre el equipamiento de las redes eléctricas inteligentes en la zona de estudio, ni a nivel del País.

1.7. Hipótesis y Variables

1.7.1. Hipótesis General

Implementando energías renovables como generación distribuida (GD) en redes de media tensión inteligentes brindará mayor calidad de suministro, garantizando confiabilidad, estabilidad del sistema eléctrico Sicuani.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- A. Se optimizará la operación del sistema eléctrico en la ciudad de Sicuani antes y después de incorporar una generación distribuida, haciendo un balance energético de la calidad de suministro en ambos escenarios.
- B. Se obtendrán mejoras técnicas en la operatividad del sistema en las redes del alimentador media tensión SI-01 correspondiente sistema eléctrico de Sicuani con la incorporación de una GD, reduciendo las pérdidas de energía, mejorando los perfiles de tensión, con mayor calidad y excelencia del suministro de energía eléctrica para los beneficiarios.
- C. El nuevo modelo propuesto brindara una mejor respuesta frente a fallas que se presente en el alimentador de media tensión SI 01 SET Sicuani con tiempos promedio menores y elevara los índices de satisfacción en usuarios y superar de manera satisfactoria las metas propuestas según los índices de gestión de energía.

1.7.3. Variables e Indicadores

Debemos comprender que el objetivo es perfeccionar dos aspectos, como primer punto es mejorar la calidad de suministro y la coordinación de protección, luego realizaremos un buen arreglo de los equipos de protección para evitar cualquier inconveniente que se pueda registrar en la red interconectada con GD. Entonces plantearemos tres tipos de variables: Independientes, dependientes e intervinientes.

Tabla 1-2

Variables dependientes

VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES
Calidad de Suministro	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de duración de interrupción (h)
	<ul style="list-style-type: none"> • Número de interrupciones (interrupciones/semestre)

Tabla 1-3

Variables intervinientes

VARIABLES INTERVINIENTES	INDICADORES
<ul style="list-style-type: none"> • Topología de la red 	<ul style="list-style-type: none"> • Impedancia equivalente (Ω)
<ul style="list-style-type: none"> • Demanda afectada 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia activa (MW)

Tabla 1-4

Variables independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES
Generación Distribuida	Potencia activa (MW)

1.8. Metodología

1.8.1. Características De La Investigación

A. Tipo de Investigación

Por el objetivo y finalidad que se busca demostrar, en este trabajo de investigación será necesaria utilizar la metodología de Investigación Aplicada, ya que está dirigida a aportar la comprensión de la necesidad de del aporte de la generación distribuida, con el uso de redes inteligentes (ALVAREZ, Universidad Católica Andrés Bello). También se puede decir que será una Investigación Aplicada Tecnológica (Mgt. CAÑIHUA CAYOCUSI, 2010), pues se buscará plantear soluciones concretas, reales, factibles y necesarias al problema planteado.

B. Nivel de Investigación

El trabajo de investigación está referido en el marco de lo explicativo, por lo que conlleva en primer lugar con la identificación de la problemática, para luego centrarse en el estudio de las condiciones, causa y efectos que trae la implementación de la GD en la mejora y eficiencia del suministro eléctrico (Dr. GÓNGORA PRADO).

C. Método de Investigación

Ya que el trabajo de investigación se basa en la observación de hechos y establece conclusiones a partir del análisis de dichos datos, la investigación fusionará lo inductivo y deductivo, ya que el estudio se inicia de eventos específicos, los cuales, se identifican por la existencia de las redes eléctricas en estudio, la cual nos conlleva a evaluar y establecer pautas en relación a las consecuencias y secuelas de la integración de GD con redes inteligentes. Basándonos en lo anteriormente expuesto y de acuerdo al conocimiento teórico, para el presente caso, las anomalías no siempre suceden en redes continuas a la red con GD, en caso de no poder despejarlas de forma adecuada, estas pueden ocasionar problemas en la calidad del suministro, acá podemos observar el punto en el que se deduce la correlación de causalidad.

D. Diseño de la Investigación

La tesis será Experimental, pues intenta mejorar la operación del sistema eléctrico de Sicuani con la incorporación de GD, utilizando las redes inteligentes para una mejora en la calidad de suministro eléctrico de la ciudad de Sicuani. Además, se realizarán simulaciones de la actuación de los equipos del sistema eléctrico con la incorporación de GD tomando como base de funcionamiento las redes inteligentes con el programa computacional DIGSILENT Power Factory 15.1.2.

1.8.2. Población y Muestra

La población del presente estudio está conformada por la subestación de transformación, mini centrales de generación hidráulica de Hercca y Langui, y toda la infraestructura eléctrica del sistema eléctrico Sicuani.

1.8.3. Técnicas de Recolección de Datos

Realizando la presente tesis necesitaremos los datos de la red eléctrica, y las características y equipos que lo constituyen. A este respecto recurriremos a la siguiente técnica de recolección de datos:

Recopilación Documental. Pues, el estudio precisará de información abarcada en estudios, normas, datos técnicos, diagramas unifilares de línea.

1.8.4. Procesamiento de Datos

De acuerdo a los objetivos del estudio (General y Específicos) por ejemplo: El análisis del de la operatividad del sistema eléctrico actual, y luego se procesará en un programa computacional especializado. Los instrumentos informáticos que se utilizarán son: power Factory DigSilent (versión 15.1.7), Autocad, Word, Excel y ArGIS.

1.9. Matriz de concistencia

TITULO: INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE COMO GENERACION DISTRIBUIDA EN REDES ELECTRICAS INTELIGENTES DE MEDIA TENSION EN LA CIUDAD DE SICUANI-2018

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	CONCLUSIONES
<p>GENERAL: ¿Cuál es el impacto en la calidad de suministro con la implementación de energías renovables como generación distribuida (GD) en la operación de una red eléctrica inteligente de media tensión en la ciudad de Sicuani?</p> <p>ESPECIFICOS: a. ¿Cuál es la situación operativa del sistema eléctrico (SE) antes y después de la implementación de una energía renovable como generación distribuida en el sistema eléctrico Sicuani? b. ¿Qué condiciones técnicas se experimentarían en las redes de distribución primaria con la incorporación de energía renovable como generación distribuida (GD)? c. ¿De que manera repercute en la cargabilidad de los alimentadores de media tensión (AMT) la implementación de redes inteligentes con energía renovable como generación GD?</p>	<p>GENERAL: Mejorar la calidad de suministro mediante la implementación de energías renovables como generación distribuida (GD) en redes inteligentes de media tensión (MT) en la ciudad de Sicuani.</p> <p>ESPECIFICOS: a. Evaluar la operatividad del sistema eléctrico (SE) en la ciudad de Sicuani antes y después de incorporar energías renovables como generación distribuida (GD). b. Analizar las mejoras técnicas en la calidad de suministro en las redes de media tensión (MT) del sistema eléctrico (SE) Sicuani con la implementación de energías renovables como generación distribuida (GD). c. Plantear un modelo de redes inteligente con energías renovables como generación distribuida (GD) en el Sistema Eléctrico Sicuani.</p>	<p>GENERAL: Incorporando energías renovables como generación distribuida (GD) en redes inteligentes de media tensión brindará mayor calidad de suministro en la ciudad de Sicuani.</p> <p>ESPECIFICOS: a. Se optimizará la operación del sistema eléctrico en la ciudad de Sicuani antes y después de incorporar una generación distribuida, haciendo un balance energético de la calidad de suministro en ambos escenarios. b. Se obtendrán mejoras técnicas en la operatividad del sistema en las redes del alimentador media tensión SI-01 correspondiente sistema eléctrico de Sicuani con la incorporación de una GD, reduciendo las pérdidas de energía, mejorando los perfiles de tensión, con mayor calidad y excelencia del suministro de energía eléctrica para los beneficiarios. c. El nuevo modelo propuesto brindará una mejor respuesta frente a fallas que se presente en el alimentador de media tensión SI 01 SET Sicuani con tiempos promedio menores y elevará los índices de satisfacción en usuarios y superará de manera satisfactoria las metas propuestas según los índices de gestión de energía.</p>	<p>VARIABLES DEPENDIENTES - Calidad de suministro</p> <p>VARIABLES INTERVINIENTES -Topología de la Red -Demanda afectada</p> <p>VARIABLES INDEPENDIENTES -Generación Distribuida</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION Por el objetivo y finalidad que se busca demostrar, en este trabajo de investigación será necesaria utilizar la metodología de Investigación Aplicada, ya que está dirigida a aportar la comprensión de la necesidad de del aporte de la generación distribuida, con el uso de redes inteligentes.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACION El trabajo de investigación está referido en el marco de lo explicativo, por lo que conlleva en primer lugar con la identificación de la problemática, para luego centrarse en el estudio de las condiciones, causa y efectos que trae la implementación de la GD en la mejora y eficiencia del suministro eléctrico</p> <p>METODO DE INVESTIGACION Ya que el trabajo de investigación se basa en la observación de hechos y establece conclusiones a partir del análisis de dichos datos, la investigación fusionará lo inductivo y deductivo, ya que el estudio se inicia de eventos específicos, los cuales, se identifican por la existencia de las redes eléctricas en estudio, la cual nos conlleva a evaluar y establecer pautas en relación a las consecuencias y secuelas de la integración de GD con redes inteligentes.</p>	<p>En este proyecto de tesis se demostró el impacto positivo en la calidad de suministro con la integración de energías renovables como generación distribuida GD en la operación de redes eléctricas inteligentes de media tensión MT en la ciudad de Sicuani, obteniendo importantes mejoras en los indicadores de gestión de energía; reduciendo el Saifi hasta en un 30.73 % y Saidi hasta en un 25.36 %, termina siendo una solución muy eficiente para mejorar la calidad de suministro.</p> <p>Se evaluó condiciones de operatividad, antes y después de la incorporación de energía renovable como generación distribuida (GD) en redes inteligentes de media tensión (MT) en la ciudad de Sicuani, obteniendo mejores niveles de calidad, seguridad y confiabilidad en el sistema eléctrico Sicuani con generación distribuida (GD).</p> <p>Se analizó las mejoras técnicas en los alimentadores de media tensión del sistema eléctrico Sicuani con la incorporación de energías renovables como generación distribuida (GD) en donde se reduce significativamente los niveles de caída de tensión con 2.30% con GD a comparación del 5.67% sin GD. En cuanto a la cargabilidad de los alimentadores de media tensión se reduce 14.31% con GD y aumenta 19.51% sin GD.</p> <p>Se planteó un modelo de una red de distribución inteligente en el sistema eléctrico Sicuani, incorporado con las energías renovables como generación distribuida (GD) mediante el alimentador de media tensión (AMT) SI 01, SET Sicuani, que permite un monitoreo en tiempo real el suministro de energía eléctrica, capaz de garantizar la continuidad del servicio estableciendo un sistema más confiable.</p>

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico Referencial

2.1. *Antecedentes de la Investigación.*

Tomaremos como antecedentes algunos trabajos afines a este, que están en el lineamiento de beneficios de energías renovables, generación distribuida, energías con implementación redes inteligentes que se realizaron a nivel mundial.

2.1.1. Antecedente 1: Tesis de Grado

Vicente (2013), realiza una descripción de la GD que determina como paradigma a las redes inteligentes. La investigación acerca de las oportunidades de integración y combinación que las actuales herramientas tecnológicas de generación y acopio en el sistema de distribución de electricidad, en la medida en la que la hemos evidenciado; se expone como la presencia de una red de transporte con altos niveles de control, a causa del examen permanente de medidas de cuidado y atención, comprobando la producción de una red de distribución que necesita ser más controlada por el sistema.

La GD suma su importancia con el paso del tiempo, reemplazando a las anteriores gracias a una red de centrales eléctricas concentradas. El actual modelo de red distribuida necesita aplicar redes eléctricas inteligentes. Por otro lado, la producción eléctrica distribuida integrada en parte por fuentes renovables presenta características de difícil repartición, por lo que es necesario sistemas actuales que los complementen, por ejemplo, sistemas de control y acumulación. Todo ello, con el objetivo de ofrecer a los beneficiarios la posibilidad de tener electricidad en circunstancias similares a los sistemas de generación despachable y centralizada. Asimismo, permitiría obtener procedimientos actuales de administración de la energía, llamados sistemas inteligentes. La inserción de sistemas y metodología de administración

actualizada permite el progreso de la GD en redes inteligentes, teniendo la ocasión de actuar como microrredes preparadas para producir de manera autónoma.

Por su parte, **Herrera (2013)** realiza una tesis en la que relata las aplicaciones y beneficios de las Smart Grids en los sistemas de distribución eléctrica proponiendo mejor tecnología. Herrera precisa que los Smart Grids ayudan a controlar, monitorear, y acceder a los datos concernientes a los diversos entes involucrados usando equipamiento moderno con el objetivo de beneficiar la unión de herramientas tecnológicas actuales y por venir, pudiendo perfeccionar el sistema. Es decir, que el examen realizado se centra en la definición de sistemas inteligentes y su empleo en los sistemas de distribución.

No obstante, es importante recalcar que actualmente el mal estado de los sistemas en el Perú, la insuficiencia de industria que refleja la disminución de beneficios y la carencia de datos actuales no admitirían gozar de la gran capacidad de las Smart Grids al llegar a su máximo perfeccionamiento. Es por ello que, es primordial programar el sistema de distribución para el momento en que se realice una transformación que permita estandarizar y organizar el acopio y conducción de los datos con la finalidad de tenerla actualizada y completa, en el examen de diseño, planificación y operación que ha sido disminuida en los años recientes, debido a que todavía no es posible implementar dicha tecnología, cuya consecuencia será empeorar los errores si no se arreglan los problemas esenciales.

Igualmente, **Lorente (2011)**, indica cual es el actual estado de las Smart Grid sugiriendo aplicar sosteniblemente la ejecución de las redes eléctricas. Su estudio está enfocado en entender el cómo definir a las redes inteligentes especificando sus particularidades, mecanismos, desventajas y beneficios. Posteriormente, se investigó la definición de generación distribuida, con el objetivo de analizar y describir los diversos principios de la generación como sistemas de almacenamiento desarrollados o por desarrollar, y las consecuencias que tiene su aplicación en los sistemas de energía. Seguidamente, se revisó la administración de la demanda,

resaltando los medios para lograr un mejor aplastamiento de la curva de demanda, manteniendo la más grande eficacia en el sistema.

Una vez definidos estas denominaciones conceptuales, se realizó una revisión de los diversos proyectos locales y extranjeros. Finalmente, se hizo un repaso de la normativa que se aplica actualmente a las redes inteligentes en el Perú. En conclusión, las redes inteligentes son las concurrencias entre las tecnologías de operación en redes eléctricas y la información, permitiendo la aplicación de iniciativas sostenibles para los usuarios y mejorar la eficiencia, seguridad, confiabilidad de las empresas.

Por otro lado, **Garde (2015)**, hace una referencia sobre sobre almacenamiento de energía, más la unificación de energías renovables en redes inteligentes a nivel de propuesta para la aplicabilidad en las redes eléctricas. De la misma forma menciona que, los sistemas de almacenamiento logran compensar las variantes temporales de la producción renovable que no sea administrable, y que perjudican la duración del sistema eléctrico obligando a buscar otras medidas eficientes y aceleradas que las compensen.

Asimismo, indica que, a causa de la variedad de tecnología de almacenamiento, el rol que cumple en el área de energética es humildemente estudiada en los proyectos de economía de contenido bajo en carbono y su efecto en la red de energía renovable. Es decir, el almacenamiento de energía tiene potencial para brindar un sin número de productos a base de energía y el almacenamiento es una parte importante para la administración de energía en el Smart Grid y en la producción de microrredes.

En cuanto a la investigación de **Méndez (2005)**, es importante señalar que identifica la problemática detrás de los reguladores relacionados al perfeccionamiento de las metodologías de operacionalización de las energías renovables, realizando una reseña de la Generación Distribuida (GD). En este sentido, su estudio estuvo enfocado en reconocer y examinar la problemática de los regulatorios relacionados a la integración de la GD, y plantear

renovaciones en la regulación que accedan un mejoramiento en su integración. Estas renovaciones tienen que ser compatibles con la nueva organización que se está dando en el campo de la energía eléctrica.

La contribución más importante de este estudio es la formulación de modelos primordiales en el efecto de la implementación de la GD como en la penetración, localización, tecnología y dispersión. Igualmente, se produjo un método de investigación que examina el proceder de la pérdida a causa de la conexión GD, tomando en consideración los modelos anteriormente señalados. La investigación estuvo basada en la sistematización horaria de las pérdidas durante el año, deduciendo el flujo de cargas correspondiente al alimentador en una hora. Usando este método se comparó la pérdida anual sistematizada por hora en contextos sin y con GD.

2.1.2. Antecedente 2: Iniciativas Principales de Redes Inteligentes y Generación Distribuida en el Mundo

A. Unión Europea

(Muro, 2012) indica que el concepto de Smart Grid, refiere a los equipos tecnológicos, que permiten que los sistemas energéticos se regulen automáticamente.¹ La nueva denominación se originó durante las tentativas de utilización de los mandos de empleo del uso de energía mediante monitorización y medidores. Es por ello que, en 1980 se colocaron medidores de electricidad con el objetivo de supervisar las cargas de miles de usuarios.

Asimismo, el año 1990 se pusieron los únicos medidores preparados para definir los requerimientos de los beneficiarios. Consecutivamente, el 2000 se implementó el único proyecto de Smart Metering hasta ese entonces, colocando medidores a unos 26.99 millones

¹ Muro. Revista IEEE Power & Energy. 2005. Pág. 121.

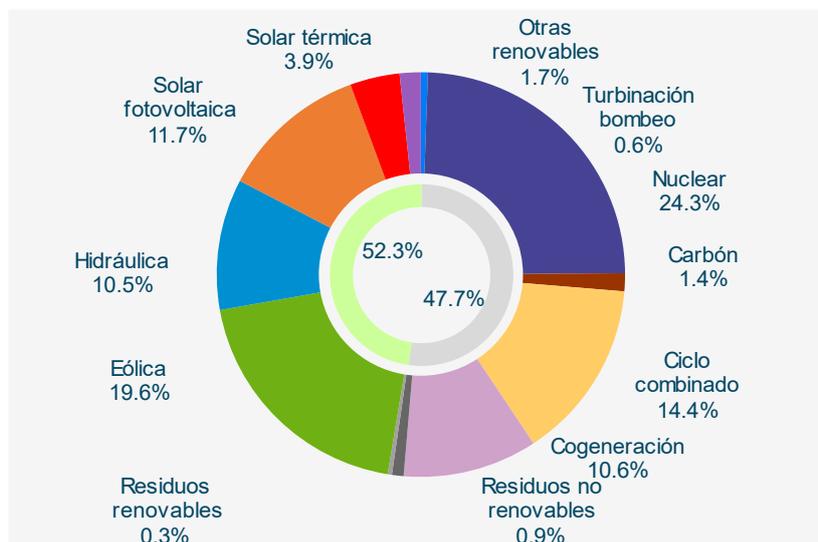
de habitantes aproximadamente, conexos por una red. Poco después, durante abril del 2006, se exhibió su opinión de la Smart Grid y poco tiempo después se redactó un documento que señala los espacios a ser estudiados técnicos o no técnicos, que guiarían un estudio específico.

Finalmente, observamos que hasta el día de hoy no se ha llegado a un acuerdo sobre los conceptos de GD, sin embargo, en el mundo se han efectuado diferentes proyectos de sistemas inteligentes en los que se incluye la tecnología de la data y edificación de las instalaciones eléctricas generando el concepto de “Internet de la energía” (pag.122)

En cuanto a España, se han identificado numerosas empresas y proyectos como la Smart City- ENDESA ubicada en Málaga. Este proyecto fue promovido por 11 compañías que tienen 900 productos de servicio, 300 usuarios fabriles y 11 000 beneficiarios. Dentro de los servicios que ofrecen están: la disposición de paneles FV en viviendas y edificios y la utilización de microgeneración eléctrica. Se proyecta las baterías en los sistemas de almacenamiento, la utilización de autos eléctricos instalando postes de recarga (Muro, 2012)

Asimismo, otro proyecto español en boga es el STAR Castellón IBERDROLA, que tiene unos 175.000 usuarios que cuentan con un servicio de calidad de sistema eléctrico, renovado con más de 100 000 contadores. También, el CENIT GAD Iberdrola, Gas Natural Fenosa es una compañía de I+D+i capitalizado por un valor de casi 24 millones de euros.

En la siguiente matriz se muestra la GD en España:

Figura 2-1*Generación distribuida española*

Fuente: Red Eléctrica de España, Boletín mensual-Julio 2021

Durante los años 2007 al 2010, se gastó 24 millones de euros en la compañía de redes inteligentes eficaces y controladas. El año 2015 la compañía de productos públicos Iberdrola colocó 10 millones de contadores automáticos y la compañía ENDESA colocó otro tanto, beneficiando a 12.99 millones de usuarios.

En Holanda, específicamente en Ámsterdam, se ha implementado Smart City Accenture que es un programa que usa una Smart Grid con herramientas de edificios inteligentes, contadores inteligentes y carros eléctricos con el objetivo de disminuir el uso de energía en las casas y espacios públicos (Muro, 2012)

Por otro lado, en Estados Unidos, la Boulder, SmartGridCity y Colorado Xcel Energy, es un conjunto integrado de red inteligente que contienen subestaciones, red de comunicación de banda ancha, alimentadoras contadoras inteligentes, transformadores y aplicaciones enfocadas en la web.

En cambio, en China, la compañía Yangzhou, ChinaGE tiene instalaciones con la última tecnología para la lectura que incluyen contadores inteligentes y sistemas de

administración de energía que corresponde al eje de ahorro y conservación de energía en las casas.

En Brasil, se ha efectuado la ejecución de precios en tiempo real, reduciendo de esta manera los precios de la electricidad y pérdidas mejorando la calidad del servicio. Un ejemplo es la empresa Brasil Blumenau CELESC, la cual se encuentra en gran parte del mercado de mediación inteligente con 3700 usuarios aproximadamente aplicando la tecnología PLC. Otro ejemplo es la compañía INOVGRIDEDP, ubicada en Aparecida do Norte cuya urbe cuenta con 13 500 conexiones y contiene GD, movilidad eléctrica, medición a distancia e iluminación eficaz, teniendo un costo de 10 millones de reales. Por otro lado, la empresa Búzios ENDESA, cobra precios de acuerdo a los horarios en los que el usuario utiliza el servicio, además, tiene un sistema de distribución con red de control autónomos y utiliza lámparas LED.

En el caso de Chile, la empresa ENDESA. Chilectra ubicada en Santiago de Chile tiene el prototipo inicial de urbe inteligente, después se probará la unión de herramientas tecnológicas como el Smart metering, los carros eléctricos, la autorregulación y la GD.

En Argentina, la compañía EDENOR tiene un sistema de supervisión SET de AT y telecontrol de contadores y redes de tendidas.

En cuanto al Perú, la compañía Hidrandina instaló primigeniamente 499 contadores aproximadamente con telemedición para usuarios con comercios e industrias para la gestión y administración operativa, de demanda y el control de algunas de las pérdidas que no tienen que ver con problemas técnicos (Muro, 2012)

(Paredes, 2012), por su parte determina como red inteligente a una clase de herramienta tecnológica que los usuarios usan para actualizar los suministros y servicio de electricidad. De acuerdo a las necesidades de este siglo se está utilizando computadoras con un control automatizado. Todo ello se debe a la comunicación bidireccional y el proceso de operación de los equipos que han usado durante largo tiempo otras empresas.

B. Estados Unidos

Los autores Hashmi (2011); Jeju SGTB (2012a) y KSGI (2012b) mencionan un proyecto guía referido a la tecnología fotovoltaica y su introducción en Estados Unidos y el Reino Unido realizando una investigación de la regulación que esta impulsa. Aunque ha habido una fuerte promoción y aplicación de las energías renovables en Estados Unidos y el Reino Unido, se evidencia que aporta el 12% y 16 % a la producción neta, siendo menor al 40% que de documento el 2014 en España. En este sentido, la energía fotovoltaica, al igual que la eólica, una las energías que está creciendo su consumo en todo el mundo. Los estados de Italia (~18 GW), Japón (13,6 GW), China (~20GW), Alemania (~36 GW⁹, y Estados Unidos (12,1 GW), son los que más instalaciones han realizado a fines del 2013.

En cuanto a la penetración fotovoltaico a nivel mundial, en el 2013 se ha observado que Reino Unido presenta el 0.64%, Estados Unidos el 0.5, España 3.62% y el preferente es Alemania con 5,7%.

Aunque se observa un inferior nivel de introducción en Estados Unidos, es importante resaltar que el 2013, Nueva York muestra el 2% y California un 3%, lo que evidencia el acelerado expansión de este tipo de energía en los diferentes estados.

C. Canadá

Popescu et al. (2010) señalan que, durante el 2012, un enorme número de familias ya contaban con sistemas inteligentes y en el 2013, la compañía British Columbia proyecta colocar contadores a sus usuarios. (pag.11)

Australia

Hashmi (2011), afirma que la publicación del Código de Medición de Servicio Eléctrico de Clientes, sirvió en demasía a los usuarios dado que fue realizada con el objetivo de solicitar medidores para un sin número de usuarios, además de la colocación inexcusable de aparatos de medición a los usuarios de las compañías de electricidad. Durante el 2009, el gobierno

anunció que el proyecto “Smart Grid, Smart City”, iniciando con este plan la colocación de redes inteligentes comerciales en Australia”. (pag. 13)

D. China

Hashmi (2011), menciona a la racionalización y fortalecimiento de las redes eléctricas inteligentes, y de las redes de transmisión. El perfeccionamiento de un sistema de emergencia que asegure y de confianza a los usuarios. Además, la mejora de la administración de los requerimientos acerca de la utilización de la electricidad con el objetivo conservarla y extender la eficacia en su consumo. Asimismo, apoyar al fortalecimiento de la legislación. (pág. 13).

E. India

Hashmi (2011), señala la ley de Electricidad 2003 con el objetivo de optimizar la eficacia y volumen de producción y distribución de energía. Asimismo, indica que es esencial conocer el aumento en el consumo de energía que se da cada año para saber cómo se realizara la distribución. Por otro lado, la pérdida de redes de transmisión tiene un promedio de 26% referente a la generación de electricidad; es más en diversas ciudades, estas incrementan hasta más de la mitad incluyendo los errores no técnicos como el hurto. También hay un déficit financiero. (pág.12)

F. Japón

SGTB (2012) señala que el fomento de compañías individuales que apoyan la aplicación estándar del sistema inteligente ha expuesto planes para desarrollar y expandir el consumo energías renovables en diversas ciudades. Durante el 2007, diversas ciudades han dado gala de la maniobra de microrredes. En el 2009, se inauguró espacios de muestra para las redes de generación y transmisión de la siguiente tecnología. Empero en el 2013, diversas empresas elaboraron unidas en la instalación de contadores en la oficina que sirve a los usuarios. Un año más tarde, se realizaron planes modelo en urbes inteligentes.

G. Corea

KSGI (2012c) comenta que la República Corea puso un hito en el inicio de la aplicación de sistemas inteligentes con el objetivo de aumentar su riqueza económica de una manera más efectiva y amable con el medio ambiente a través de la utilización de la tecnología de bajo carbono en el 2008. Un año después, se informó que la meta para 10 años será disminuir la producción de dióxido de carbono y plantear la instauración de un plan que convierta a la nación en un país que utilice energías renovables y redes inteligentes. (pág. 16).

2.1.3. Antecedente 3: Nivel Nacional y Regional

Actualmente, los proyectos de Smart Grid se encuentran desarrollándose y proyectándose para el futuro del Perú, necesitando mayor difusión y expansión para alcanzar el nivel de otras naciones que aplican desde hace algunos años, cualquiera de estas herramientas tecnológicas, como es el caso de, la GD a redes de distribución e inteligentes.

A continuación, se expone un gráfico con la proyección de este sistema en el Perú.

EMPRESA	DESCRIPCIÓN
Electro Sur Este S.A.A	Planta piloto de sistemas fotovoltaicos instalados en la empresa con una capacidad de 160 <u>kw</u> , trabaja en forma aislada.
Electro Sur Este S.A.A	Dentro del ámbito de la Provincia de <u>Canchis</u> se encuentran las pequeñas centrales Hidroeléctricas de <u>Hercca</u> y <u>Langui</u> generando una potencia de 1.02 y 3.25 MW respectivamente; la empresa se encarga de distribuir la energía eléctrica beneficiando a empresas y usuarios.

Electro Sur Este S.A.A	La Mini Central Hidráulica de Pisac con una potencia de 160 KW, y de <u>Quillabamba</u> de 1.2 MW, y otros bajo la administración de la empresa, quien se encarga de distribuir la energía eléctrica beneficiando a empresas y usuarios.
ENEL	Proyecto Smart <u>Metering Peru</u> . En el Perú no se instaló un sistema Smart <u>Grid</u> hasta 2017, sin embargo, existe un proyecto Piloto de 10KW Smart <u>meters</u> desarrollado por la empresa, que está en proceso de implementación.

2.1.4. Antecedente 4: Principales países latinoamericanos inductores para la implementación de Smart Grid de acuerdo a su diversidad potencial.

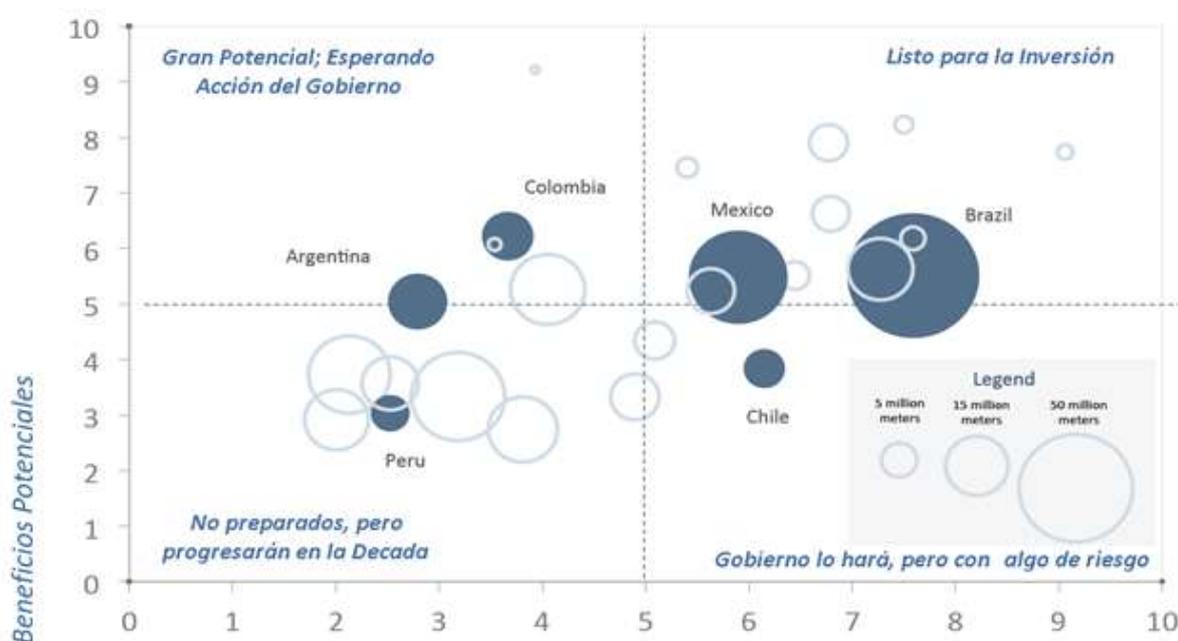
Sayas (2017) indica que en el análisis y evaluación de los datos de las diversas naciones y/o países mencionados líneas arriba, han resultado en la aprobación y ejecución el método Smart Grid que comprueba y tantea los sistemas de medición. Es un sistema altamente recomendado en diversos territorios a nivel mundial. Es por ello que, se puede señalar que los especialistas en ingeniería eléctrica que respaldan y apoyan la aplicación de dicho modelo, resaltan sustancialmente que su ejecución es específica y depende del contexto de cada país, región, mercado o compañía. (pág. 43)

En el siguiente cuadro se observa el estado de aplicación y beneficios potenciales del Smart Grid en América latina. Donde el Perú se encuentra en el recuadro de países que no están preparados para la implementación de este método pero que se prepara y se proyecta para su ejecución durante esta década. En los demás cuadros se encuentran Colombia y Argentina,

observándose un gran potencial, pero esperando la respuesta del gobierno. A México y Brasil, cuyos estados están preparados para invertir en este tipo de tecnología e implementar cada vez más proyectos. Finalmente, en Chile se evidencia un interés del estado por desarrollar esta tecnología, pero considera que es un riesgo.

Figura 2-3

Donde se encuentran ubicados en cuatro cuadrantes los países de América Latina



Fuente: Red Eléctrica de España, Boletín mensual-Julio 2017

2.2. Marco Teórico.

2.2.1. Introducción

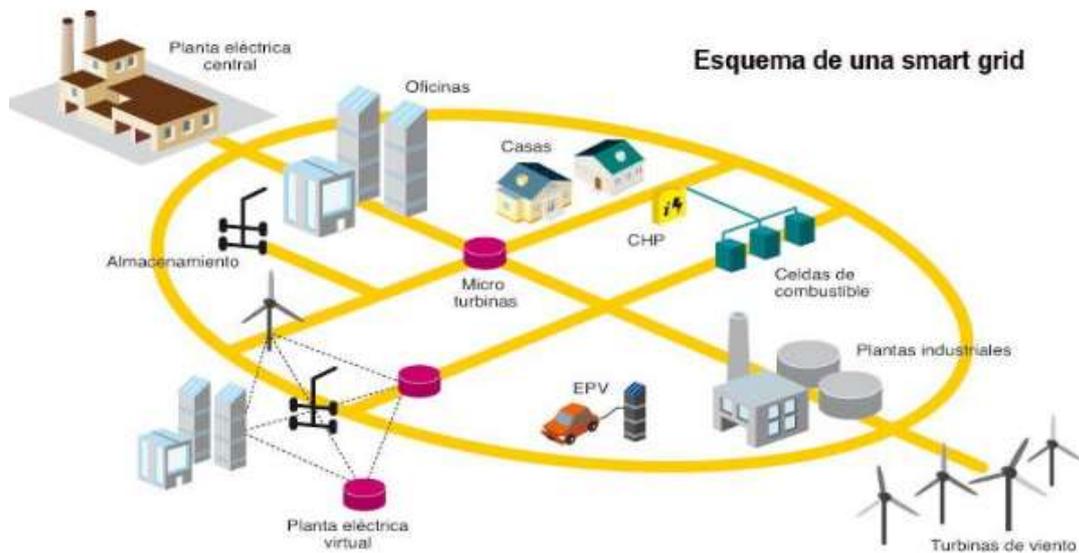
Definimos la GD, la cual estudia el actual contexto, sus probables directrices de ejecución de la GD en las redes de distribución. Estas se automatizarán con sistemas inteligentes y se describirán las diversas herramientas tecnológicas que ofrezcan los proveedores y el mercado emergente. De esta manera, ejecutar la producción observando detenidamente los beneficios y pérdidas que involucra la GD.

González (2004) indica que la GD como noción no es reciente, ya que en el contexto histórico la energía se ha extendido como una opción a aquella que es suministrada por el viento, el vapor, el agua, o los calentamientos. En esta última década, ha habido un aumento de servicios basados en la GD acoplado a redes de baja tensión.

Este tipo de instalaciones genera un costo y beneficio como por ejemplo la reducción de las pérdidas, el requerimiento de incrementar el volumen de líneas y centros para transformar y dar capacidad a de potencia conectadas a la GD. El mercado comercial a nivel global empezó a elegir sistemas de electricidad durante el siglo XIX, consolidando de esta manera a la electricidad como la esencial fuente de energía por la ventaja en la movilidad a sitios alejados.

Figura 2-4

Aplicación de redes inteligentes de energía Smart City

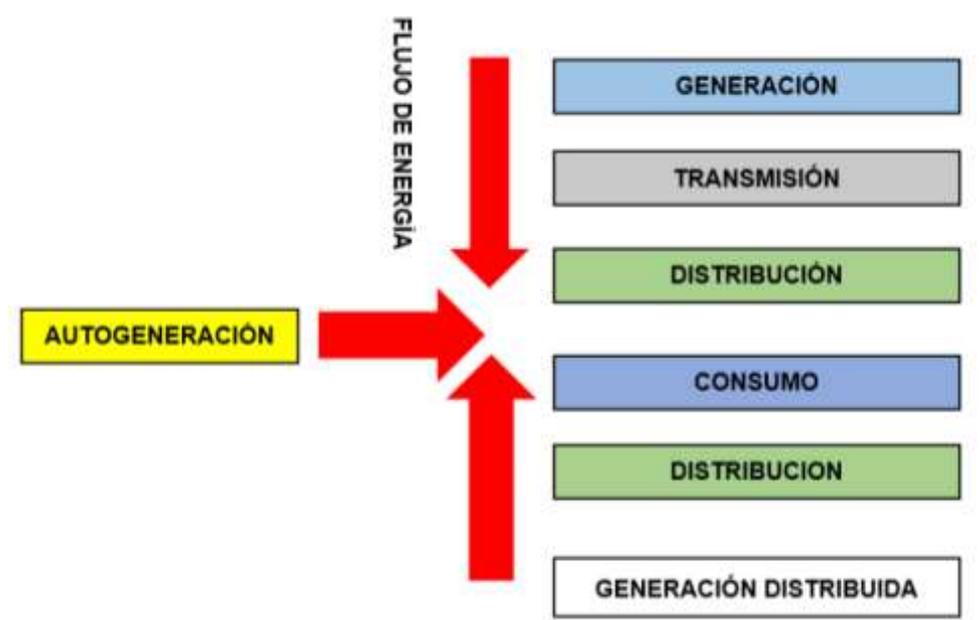


Fuente: Tesis - investigación, estudio de la situación actual de las Smart Grids
Universidad Cantabria

La distribución representativa del sistema de electricidad con potencia exhibe diferentes fases como son la transmisión, generación, distribución y consumo. Por lo que, las nuevas redes suponen la implementación de la GD, ver en la figura. 2.5.

Figura 2-5

El flujo de energía eléctrica con la incorporación de la generación distribuida



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

Elaboración: Propia

2.2.2. Rango de Potencia de Generación Distribuida

El potencial de la GD varía según las exigencias técnicas requeridas con el fin de conectar a una barra de carga específica, este es un juicio relativo como para denominar a los servicios como más chicas que las centrales. Sin embargo, después de haber mencionado lo anterior y con el objetivo de definir un volumen que corresponda a particularidades de la producción eléctrica, indicamos que, respecto a las herramientas tecnológicas a nuestra disposición, el volumen de los sistemas de generación distribuida se altera de cientos de KW a 20 000 KW, ver tabla 2.1

Tabla 2-1

Clasificación de generación distribuida por el tamaño de las unidades

CLASIFICACION	POTENCIA RELATIVA
Micro GD	$\sim 1 \text{ Watt} < P < 5 \text{ KW}$
Pequeña GD	$5 \text{ KW} < P < 5 \text{ MW}$
Mediana GD	$5 \text{ MW} < P < 50 \text{ MW}$
Gran GD	$50 \text{ MW} < P < \sim 300 \text{ MW}$

Fuente: Generación distribuida-Ackermann Thomas
Elaboración: Propia

2.2.3. Generación Distribuida (Gd) y sus Características

Segura (2005) “denomina a la GD como la generación de energía eléctrica con infraestructura bastante más chica en comparación a las enormes centrales, de tal forma es factible acoplar en una variedad de puntos. La GD es un subgrupo de redes distribuidas”.

Vinicio (2008), indica que existe una variedad de interpretaciones del concepto, a causa de las imprecisiones y vaguedades en los vocablos. Es más, las diversas naciones y organizaciones privadas que se han inmerso en esta cuestión, exhiben diferentes definiciones para la GD, por lo que es necesario tener criterio al momento de evaluar definiciones en investigaciones específicas.

Asimismo, **Vinicio, Willis & Scott (2000)**, precisan el concepto de las GD como mini generadores de 10 MW y 15 KW, dispersos en los sistemas. Los GD pueden conectarse a las redes de distribución tanto en la empresa como en la casa de los usuarios o pueden estar en estado de aislamiento. Igualmente, se utiliza la denominación de generación dispersa en referencia a los mini generadores, lo suficiente como para generar energía para el consumo de mini negocios o condominios.

Jenkins et al. (2000), menciona el tamaño de los generadores, la tecnología y tensión de conexión. Asimismo, indica que existen ciertas características relacionadas a la G como es el no ser proyectada. Se utiliza cotidianamente con potencia de 50 o 100 MW. Generalmente acoplada a las redes de distribución² (García, 2011: pág. 44-45)

Por su parte **Herrera (2011)** menciona que la GD también es reconocida con el nombre de Generación dispersa o Generación In-Situ, y se caracteriza por usar mini fuentes de producción que fructifican la energía renovable para generar electricidad en las zonas donde se hallan los consumidores. Este principio data de comienzos de la industria en la cual la producción se daba in situ, algunas décadas más tarde a causa del acenso en la población, la producción se transformó en un modelo de generación centralizada localizada adyacente a la fuente primaria en el eje de uso generando que la población crezca alrededor.

Figura 2-6

Generación distribuida



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática de la Universidad de León (ULE)

² MARCO VINICIO HERRERA GARCÍA, (enero 2013)

Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica y telecomunicaciones (España Mayo 2011)

1. Tipos de Sistemas de GD

Según **Herrera (2011)**, “el Sector de la Electrónica y telecomunicaciones español tipifica al GD como un sistema brinda un servicio de acuerdo a las exigencias del cliente” (pág. 18-19).

a. Sistemas Conectados a la Red

Herrera (2011) “indica que refiere a la producción enlazada a la red de repartición de manera ocasional o duradera” (pág. 18-19).

b. Sistemas Aislados de la Red

Herrera (2011), menciona que este tipo se usa con el objetivo de producir electricidad y autogenerarla en lugares separados de las urbes y que no es posible enlazarse a la red a causa de los accidentes geográficos. Los sistemas son infraestructuras de producción comunales o particulares con un gran volumen de acopio y mantenimiento de la energía para ser usadas en horarios de poca generación (pág.18-19).

2. Beneficios de la GD

Según **Herrera (2011)**, indica que “aumento de la GD a ocurrido a causa de la fácil aplicación de los sistemas inteligentes y las enormes ventajas que dan a los usuarios en la distribución de electricidad” (pág. 18-19).

a. Beneficios Tecnológicos

Herrera (2011) señala que la “disminución de los déficits en la distribución y transmisión, se deben a la producción se ubica in situ donde serán utilizadas, no necesitando la red. La utilización eficaz de la electricidad y su explotación, principalmente de la energía renovable no contaminante. Ello causa una disminución del volumen en la red y el flujo de electricidad, así como el descenso de errores por la amplia oferta de espacios de producción, dando más beneficios al usuario. Por otro lado, la producción distribuida se organiza con

mayor facilidad que los centros de producción. Libera el volumen de la red al ascender la producción, dando más con menos supervisión (pág. 18-19).

b. Beneficios Económicos y Sociales

Herrera (2011) indica que la edificación y utilización de sistemas GD promueven el aumento de opciones laborales en las poblaciones rurales. En el futuro, la generalización del uso de GD reducirá el precio en la aplicación de plantas de producción. Por otro lado, esta tecnología es más amable con el medio ambiente debido a que prevalece el uso de fuentes renovables que no contaminan. Cuando se tenga un gran número de plantas de GD, el retiro de estas no será primordial para el sistema, lo cual disminuye la probabilidad de errores. El aumento de la confianza y la gran adaptabilidad de generación de electricidad en sitios aislados es una gran ventaja de la GD (pág. 18-19).

c. Beneficios para el Usuario Final

Herrera (2011) señala que el acenso en la confianza y calidad se debe al crecimiento de la producción y la facilidad de obtener electricidad. En la actualidad, los requerimientos de electricidad en determinados horarios se llenan con producción a precios exorbitantes, por lo que la GD es una buena opción para abaratar los precios. Asimismo, es amigable con el medio ambiente gracias al uso de energía renovable y el impulso del uso de carros eléctricos para evitar la contaminación por dióxido de carbono, este último es considerado el posible bum del GD para el futuro (pág. 18-20).

3. Inconvenientes En La Generación Distribuida

Vinicio (2008) indica que los primeros obstáculos que paralizan la ejecución y ascenso de los sistemas de GD son las siguientes: la tecnología, la regulación, los clientes y empresas eléctricas, los costos, las redes de distribución radiales.

2.2.4. Generación Distribuida e Integración de Energías Renovables

Renova (2015) menciona que la tarifa de la producción eléctrica mediante energía obtenida de combustibles fósiles está en aumento. Es por ello que es necesario disminuir la contaminación que ocasionan; en este sentido, las energías renovables son esenciales y se extiende su producción a nivel global, haciendo más fácil la autoproducción.

Energías Renovables.

Renova (2015) señala que las energías renovables son de origen natural e idóneamente inacabables porque tienen grandes volúmenes o son factibles de ser regeneradas, principalmente el beneficio es favorecer la armonía en el territorio siendo posible situarla en áreas campestres y separadas con la independencia de las fuentes exteriores. La energía solar, eólica, mareomotriz, hidráulica y geotérmica no contaminan el ambiente, pero hay otras que, si lo hacen, como los biocombustibles y biomasa. Generalmente la industria utiliza solo las que no contaminan debido a que impacto ambiental es menor.

En este sentido, mencionamos algunas de las energías renovables más significativas:

a. Energía Solar

Renova (2015) indica que el astro rey es el eje de las fuentes renovables, dado que induce contrastes en la atmosfera lo origina las corrientes de aire; permitiendo el ciclo del agua al ocasionar la gasificación que induce a la generación de nimbos, y por ende de la precipitación; que aprovechan a los vegetales en la biomasa y lo utiliza como energía.”

b. Energía Solar Térmica

Renova (2015) indica que la energía solar radica en fructificar la radiación solar con el objetivo de crear un aumento en la temperatura. La energía se acumula a través de paneles para su aprovechamiento en residenciales o fabricas; su utilización origina el descenso de cifras mayores al 24% del uso de energía habitual en residenciales con la disminución de

contaminación por la utilización de aceites fósiles; a pesar de su beneficio, en la actualidad su uso es limitado por el alto precio del combustible.

c. Energía Solar Fotovoltaica

Renova (2015) determina que este tipo de energía se enfoca en transformar la energía del sol en electricidad a través de paneles con semiconductores de células fotovoltaicas, estos al absorber la energía producen rebotes de electrones produciendo divergencias en el potencial de los extremos. La ensambladura de los paneles consiente la obtención de voltajes con corriente continua, no obstante, es posible convertirlo en corriente alterna con el objetivo de utilizarse directamente o ser acopiada en baterías para usarla durante la noche; e inclusive se puede inyectar energía a la red eléctrica”.

Asimismo, esta energía renovable es la de mayor uso y puede utilizarse por sistema aislado, es decir, usado en espacios en los que las líneas de red son difíciles de conseguir y tiene baja potencia como en los poblados lejanos.

d. Micro Centrales Hidroeléctricas

Renova (2015), señala que para trabajar las micro-centrales hidroeléctricas no necesitan una gran infraestructura, es por ello que es más amable con el medio ambiente siendo posible laborar continuamente. Estas centrales se pueden implementar en sitios adyacentes a corrientes de agua natural generando electricidad y alimentando un sin número de baterías.

e. Energía Eólica

Renova (2015), señala que la energía de las corrientes de aire se convierte en electricidad al desplazar las hélices de motores que ejercen fuerza para rotar la manivela céntrica. El grupo de máquinas y su conexión compone una fuente primordial de electricidad que necesita situaciones reguladas de corrientes de aire de una velocidad máxima de 13 m/s para poder ser utilizada. El mayor beneficio es el aumento rápido de su aplicación a nivel global.

f. Energía Geotérmica

Herrera (2013), indica que la energía geotérmica se consigue al fructificar los cambios de temperatura producidos en el espacio interno de la corteza terrestre, obteniendo 4.999°C aproximadamente. En ciertas áreas del mundo las gotas ubicadas en el subsuelo son capaces de llegar a los 100 °C de temperatura y el vapor que emiten sube pasando por la turbina que genera energía.

g. Energía Mareomotriz

Herrera (2013), considera que este tipo de energía es causado gracias a determinada fuerza gravitatoria entre los astros más cercanos y nuestro planeta, que dan origen a la marea. La divergencia de elevaciones de los mares es aprovechada en áreas estratégicas como bahías y golfos para las cuales se usan turbinas que rotan con el desplazamiento del mar moviendo un eje de al ensamblarse produce energía.

Herrera (2013), menciona que a energía marina también se genera por las marejadas y las divergencias del calor o frío en el mar, las cuales pueden ser aprovechadas con la finalidad de producir energía. Los movimientos marinos se convierten en electricidad al emplear subestructuras en las profundidades del mar. La energía mareomotérmica es la generada por la divergencia de temperatura del mar y la energía osmótica que es la que aprovecha de los desniveles de salinidad”.

h. Energía del Hidrógeno

Herrera, (2013) indica que el hidrógeno es uno de los elementos que más abunda en el cosmos, no obstante, es difícil hallarlo puro, por lo que se necesita usar métodos anteriores para obtenerlo. Este elemento, se transforma en electricidad cuando se usa herramientas tecnológicas que convierten la energía química en electricidad (pág. 10-16).

2.2.5. Micro Redes y la Integración de las Energías Renovables

1. Micro Red DC

(Mancar, et al.,2015), menciona a los elementos fundamentales de la Mico red son la célula solar, mini hidros, pilas combustibles, energía eólica y almacenamiento de energía. Los equipos estarán compuestos con el objetivo de producir energía eléctrica, su acopio y una carga que maniobra acoplada a una red macro. Estos pueden trabajar de ambas maneras: la primera está ensamblada a la red y la otra es autónoma, esta es la mayor ventaja de la Microgrid.

Cuando trabaja autónomamente las cargas y la generación están interconectados. Las fuentes de producción incluyen las celdas de combustible, solar y eólica.

Figura 2-7

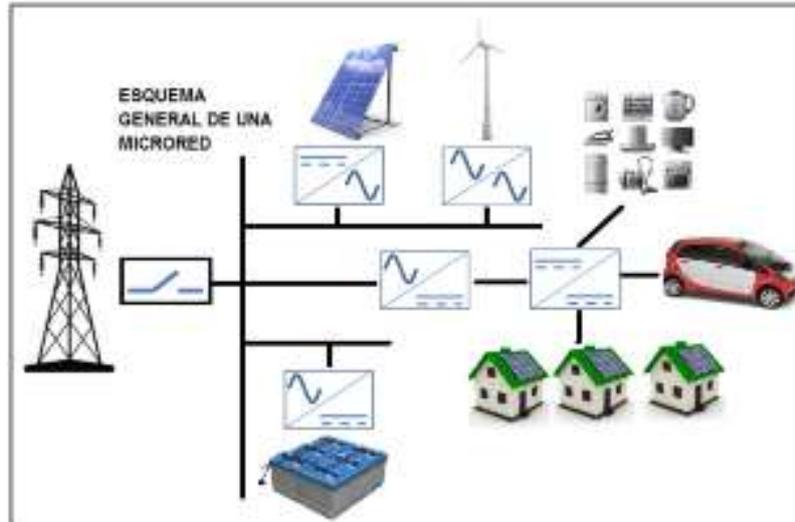
Microrredes



Fuente: ETNEO, Farolas inteligentes con micro aerogeneradores, solares y baterías

Figura 2-8

Esquema general del sistema de micro red



Fuente: Algoritmo de encaminamiento con reconfiguración de topología para la red de sensores aplicada a una micro red – EE Gaona, P.A Mancera, C.L Trujillo

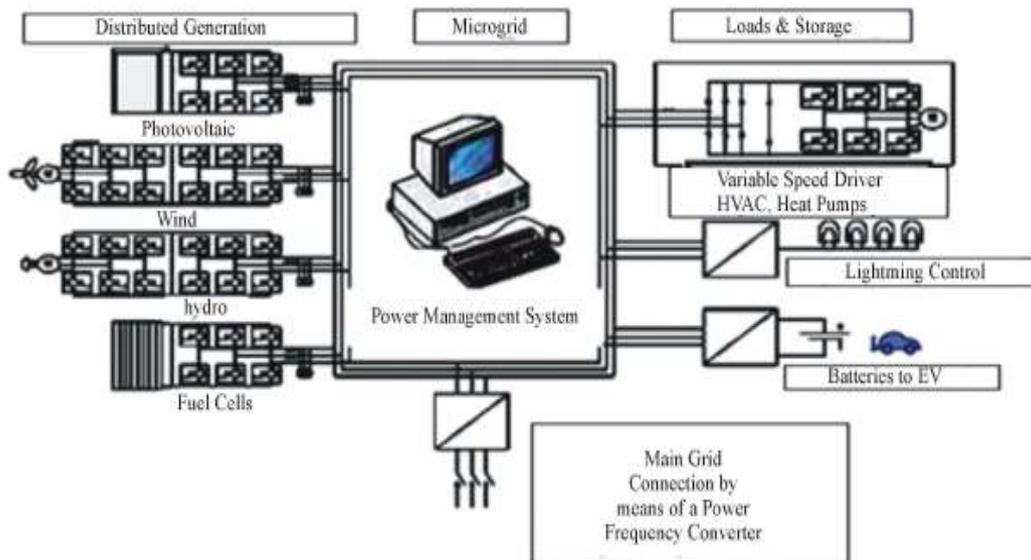
2. Sistema de Gestión de Energía

La definición de Micro Red DC se extiende de la demonización de producción energética DC. Esta definición puede ser ejecutada en la producción de energía en el siglo XXI. Aunque el espacio entre los centros de producción de energía eléctrica tiene que ser conveniente y cumplir con los requerimientos de la Micro Red de CC. La transformación de DC a AC siempre debe tener lugar.

El aumento será a causa de la coincidencia entre la CC y la electricidad local. Asimismo, la construcción que convive con estructuras eléctricas basadas en corriente alterna CA. En cuanto al acopio y mantenimiento de CC como condensadores y baterías, tienen que mantener los requisitos de la 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 las próximas décadas es necesario conservar un medio ambiente saludable, por lo que se debe disminuir el CO₂. Es posible lograr este objetivo convirtiéndolo en otro compuesto.

En la Microred anteriormente descrita se trabaja preferiblemente con el sistema descentralizado. Este sistema demuestra su eficacia reduciendo las pérdidas de energía en el sistema de transmisión, beneficiando de manera económica. Por otro lado, el sistema de cogeneración será de suma importancia en la red micro, proporcionando ganancias y un aumento de la eficacia en un 15% mientras que el sistema de combustible solo tiene una eficacia del 34%.

Existen usuarios que no están contentos con el abastecimiento local de energía eléctrica por lo que se plantea la ejecución de sistemas de energía renovable y que acerquen a la población al uso de energía verde mediante la red eléctrica. En caso, el usuario no esté satisfecho al usar el sistema habitual, puede requerir la colocación de turbinas eólicas, un PV

solar, o algún otro tipo de fuente de energía como pila combustible, mini-hidro, etc., que se encuentren a disposición. Por ejemplo, Pakistán colocará un sistema de micro red con el objetivo de obtener energía limpia.

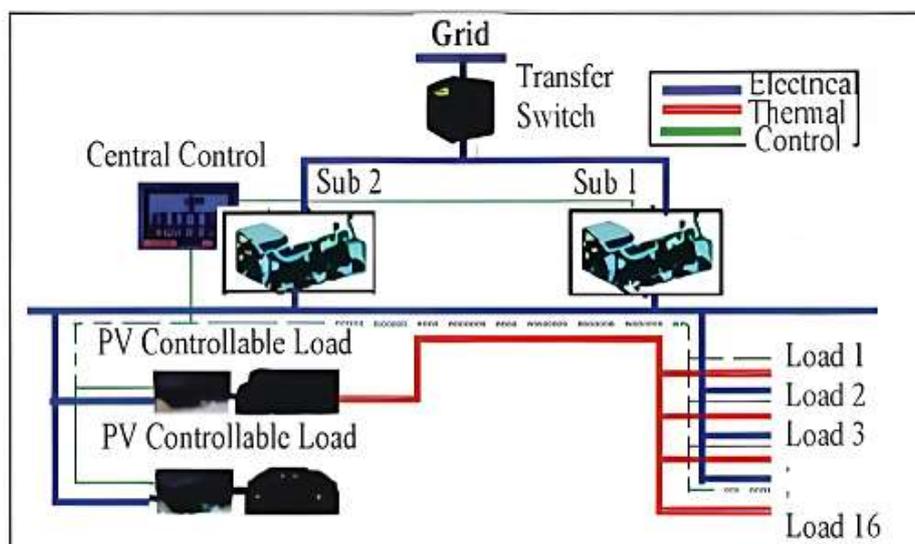
4. Modelo Simulink para la Micro Red

En todos los sistemas de micro redes, generalmente la energía renovable se acopla al sistema CC y se acopian y guardan en cuadrículas, en ese sentido, el bus de CC y CA lograrán utilizarse como lo indica el diseño expuesto en la figura 2.8. Ellos se utilizan en el perfil de carga con PV, E-coche y baterías.

En el caso de la utilización de herramientas para simular las acciones, el perfil de carga es usado en el caso de carga residencial. El Simulink que usamos en el presente estudio se expone en la figura 2.10, en el que se observa los 16 puntos de carga y algunas de las fuentes de alimentación como las células fotovoltaicas para simular la energía solar, turbinas eólicas y la FC o pilas de combustibles. Cabe resaltar que, las dinámicas que desequilibran el resguardo en la reparación estratégica se realizan utilizando el patrón expuesto.

Figura 2-10

Diagrama bloques de sistema propuesto



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

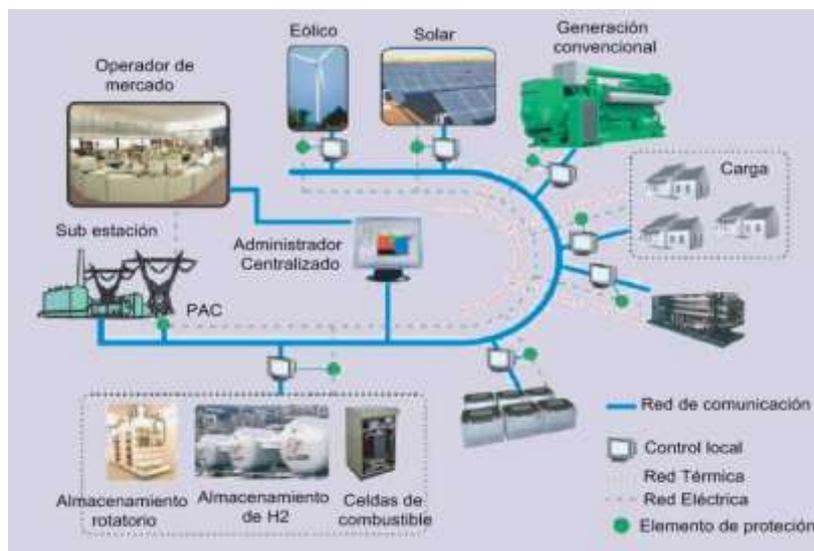
5. Control y manejo de la Microrred

De Brabandere, et al. (2007); y Driesen & Katiraei, (2008) indican que se piensa que las micro redes son el antecesor de los sistemas inteligentes, ya que el avance de los sistemas electrónicos ha dado mejores resultados y confianza a la comunicación de redes y el aumento de la eficacia y volumen del almacenamiento. En la Figura 2.11, se expone el esquema de la colaboración de varios procesos de reproducción y acumulación en una MR”.

La ejecución de una micro-red presentará diversos beneficios tales como: el mejoramiento de la eficacia del suministro de la energía, así como la mejora de la autonomía de los usuarios atendidos, podemos ver además que podrán producir un porcentaje de la electricidad que utilizan y además relacionar una GD lo cual permitirá la entrada de producción de energía alternativa. Una de los perjuicios que podemos encontrar podría ser: el precio excesivo para su ejecución; el requerimiento de un sistema de comunicación fuerte; la diversidad de la energía eólica o solar, que perturban la continuación de la producción, la cual necesita más trabajo para que el suministro se mantenga estable.

Figura 2-11

Elementos de una micro-red



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

2.2.6. Redes Inteligentes o Smart Grids

Gómez, (2011); Carbajo, (2010); Barrio, (2010) y Nigris, (2010), señalan que la creación de la denominación de red inteligente se da en un contexto donde se buscaba respuestas a requerimientos del área eléctrica, estos esfuerzos tenían como objetivo transformar la producción, distribución, transmisión de la compra y venta de la energía eléctrica.

La denominación de red inteligente está compuesta por variados juicios de los cuales aún no se han integrado; no obstante, en la actualidad se define como una extensa escala de recursos de solución que pueden perfeccionar tras la utilización eficaz de la electricidad, por ende, la Smart Grids es el progreso de la red eléctrica.

La Smart Grid termina siendo un sistema inteligente que conecta actividades de los usuarios que se enlazan a ella, en ese sentido, los clientes demuestran que estas son las razones por las cuales se logrará la finalidad de obtener una energía eléctrica eficaz, resistente y confiable.

El sistema inteligente es una red que añade transformadoras rutas de transferencia y repartición de energía eléctrica con herramientas tecnológicas digitales. Esta permite comunicarse en tiempo real entre los usuarios, el productor, transportista y distribuidor, a través de emisor-receptor de datos que promueven un sostenido y eficaz uso de la energía, proporcionando una manera de accionar en un mercado libre de compraventa de energía eléctrica.

La Smart Grid refiere al progreso del servicio de electricidad de forma que se supervise y resguarde a la vez que mejore autónomamente las sistematizaciones de todas las partes conectadas, incluyendo desde los clientes domésticos y/o con carros eléctricos y los beneficiarios con empresas de industria hasta los generadores centrales distribuidos en la red de alto voltaje.

a. Objetivos de las Redes Inteligentes

Carbajo (2010) indica que las Smart Grids ayudarán a perfeccionar la supervisión y obtención de datos de los diversos actores para lo cual se utilizará maquinas modernas colaborando en la unificación de las herramientas tecnológicas para mejorar la red (pág. 7-9).

Por otro lado, el transformar la red a un mecanismo autónomo puede colaborar a la preservación eficiente de la edificación y la administración por control remoto. Alcanzar la adaptabilidad del sistema a transformaciones en la propuesta de generación usando energía renovable y los requerimientos de maquinaria como carros eléctricos.

Promover la colaboración del cliente a través de la GD en miles de servicios, asimismo, proporcionar unificación de la producción discontinua y recientes herramientas tecnológicas de acopio y mantención de energía de distinto modelo. Conceder electricidad que tenga mayor confiabilidad y seguridad.

Suministrar servicios para que la utilización de carros con energía eléctrica que compongan cargas diseminadas en el sistema con el objetivo de rendir en el acopio y mantenimiento de electricidad disminuyendo la transformación de la edificación. Agenciar apropiadamente el uso de energía eléctrica consiguiendo que los usuarios gestionen eficazmente su uso. Obtener que las comunicaciones y el flujo de energía se den en ambas direcciones. Fortificar la red, optimizando sus acciones y reduciendo la pérdida y el requerimiento de costos a corto plazo. Suprimir la contaminación en todas las actividades para que sea una producción amigable con el medio ambiente (pp. 7-9).

b. Ejes de Desarrollo de las Redes Inteligentes

Indira (2011) señala que las Redes Inteligentes abarcan variados elementos, en ese sentido, lo más ventajoso precisa a Smart Grids como centrales específicas que nacen en contestación a algunas insuficiencias y objetivos del Sistema Eléctrico” (pág. 9).

Figura 2-12

Ejes de desarrollo de las Redes Inteligentes



Fuente: INDRA

c. El Futuro de las Redes: Las Smart Grids)

(Lorente de la rubia ,2011), señala que la Comisión Europea define la Smart Grid como un sistema eléctrico que conforma, monetariamente, la conducta y acción de los beneficiarios conexos como son los usuarios, productores y generadores con el objetivo de avalar una red eléctrica continua, eficaz, segura, protegida y con menor pérdida.

El cambio paulatino de las redes de distribución eléctrica será más acelerado en un futuro, sí deciden ejecutar las redes Smart Grids y se dan las situaciones para factibilidad.

2.2.7. Marco Normativo para Generación Distribuida y Smart Grid.

REGLAMENTO	DESCRIPCIÓN
NTCSE-Coes	Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos
Ley N° 25844	Ley de concesiones eléctricas
Decreto Supremo 009-93 EM	Reglamento de la ley de concesiones eléctricas
CUEN (2006) Ministerio de Energía y Minas	Código nacional de electricidad suministro y utilización (Parte 4)
Ley N° 28832	Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica
Decreto Ley N° 1002).	Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con energías renovables
Ley N° 27345	Ley de promoción del uso eficiente de la energía
Decreto Ley N° 1221	Regula la generación Distribuida como cogenerador de energía
Decreto Supremo 012-2011-EM	Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables
Resolución Viceministerial N° 036-2011-MEM/VME	Bases de la segunda Subasta RER, aprobadas mediante del Ministerio de Energía y Minas.
EDFININTERNATIONAL 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

Fuente: Elaboración propia

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Definición de Generación Distribuida (GD)

Lorente De La Rubia (2011), indica que la “GD es denominada generación embebida, dispersa, in situ, descentralizada, o energía distribuida” (pág. 21-22).

Asimismo, presenta variedad de denominaciones como: sistema de producción colocada adyacente a las zonas de consumo, red de generación eléctrica con infraestructura menor a las centrales de producción teniendo como ventaja su instalación en diversos puntos del sistema.

De la misma forma, se conceptualiza como la producción interconectada con el sistema de distribución o como la generación de electricidad a través de estructuras de pequeña potencia de 1000 KW, ubicados adyacentes o al interior de centros de carga.

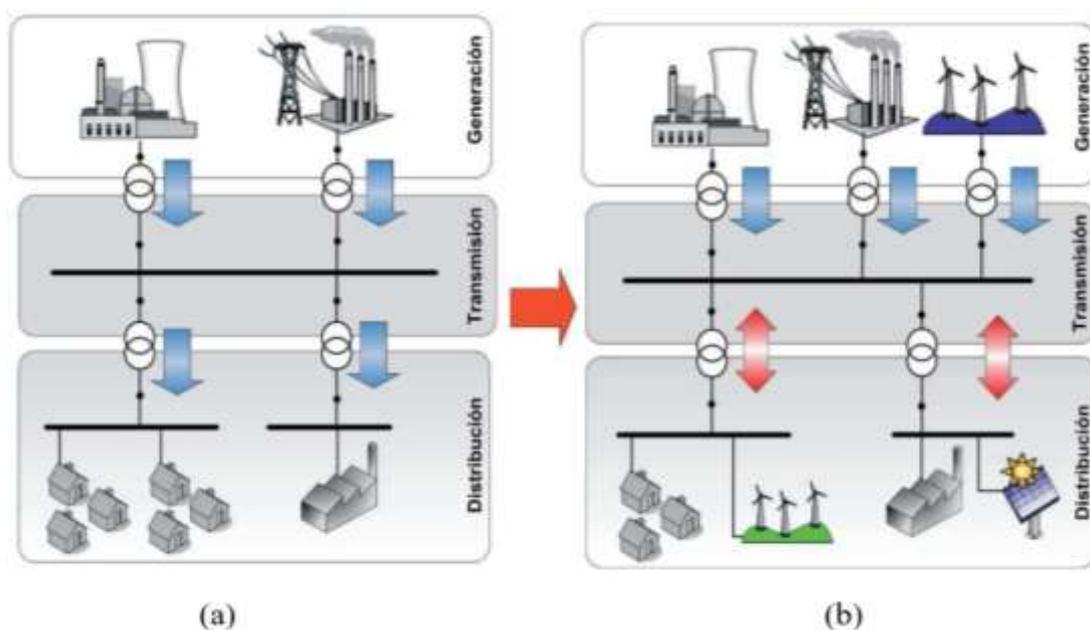
La GD se caracteriza por tener una generación de energía proporcionado por productores instalados, a través de la aplicación de herramientas tecnológicas capaces de cogenerar energía y sacar provecho de la utilización del combustible (pág. 21-22).

En conclusión, la GD es la producción y mantenimiento del acopio de electricidad elaborada a una escala mínima, e instalada en un espacio adyacente al centro de carga para poder acceder al mercado con una eficacia en el servicio. Es decir, una pequeña red colocada en puntos de uso y que a su vez esta conexas a la red distributiva.

A continuación, se expone la figura 3.13, en la que se observa la comparación en el funcionamiento y características mencionadas líneas arriba de las diferencias entre la generación distribuida y la red convencional.

Figura 2-13

Sistema de generación de electricidad con y sin GD



Fuente: Endesa

2.3.2. Microrredes Eléctricas

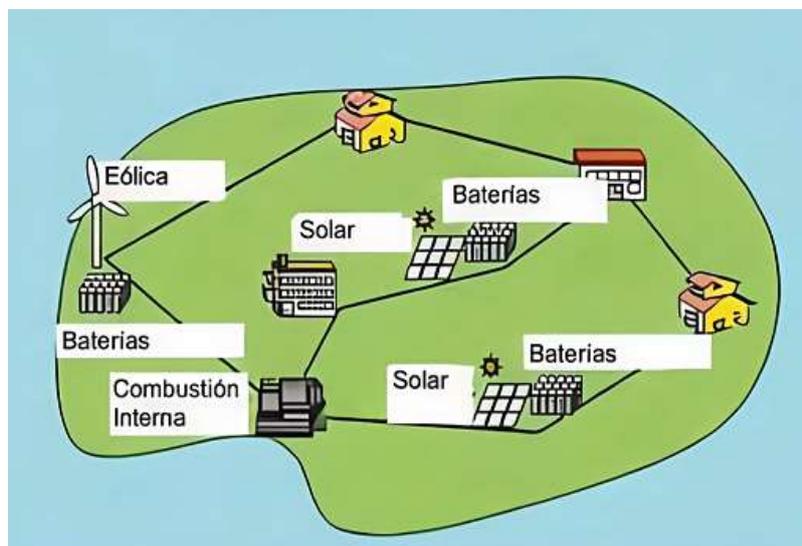
a. Definiciones:

Herrera (2013), menciona que una microrred es un acumulado de generadores y cargas que operan en una red única para abastecer electricidad funcionando enlazada a la red o de manera autónoma. También es posible para este sistema llevar o traer el excedente de electricidad, pero cuando hay errores se bloquea para continuar emitiendo energía a los beneficiarios aledaños y ya arreglado el problema se puede enlazar otra vez. Ver Figura 2.14.

La disposición de las microrredes en sectores residenciales perenes es difícil, no obstante, estas redes son sustanciales si se quieren crear un progreso urbano que requiera acomodar sus servicios básicos nuevamente, suministrando energía eléctrica a poblaciones lejanas. Además, se tiene la esperanza que en un tiempo determinado la ejecución de microrredes contribuya a la obtención de un perfeccionamiento de calidad en el servicio, menos impactos en el medio ambiente, La Microrred funciona enlazada a la red eléctrica de abastecimiento, pero al mismo tiempo es capaz de auto suministrarse. (pág. 20-21).

Figura 2-14

Esquema de microrred



Fuente: En el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

b. Elementos de una Microrred

Herrera (2013), indica que la microrred crea confianza y efectividad en los beneficiarios, que no disponen de una red principal o empresas distribuidoras con errores en las cargas de su servicio instalado

Los fines principales de una microrred son aumentar el consumo y volumen de activos de producción a través de red de inteligencia y disminuir los costos. El centro en un microrred son las tecnologías también llamadas TIC, las cuales permiten controlar y organizar la red eléctrica como un sistema ideal. Las partes que componen una microrred son:

Tabla 2-2

Elementos de una Microrred

Nº	DESCRIPCIÓN
1	Tecnología de la información y comunicaciones (TIC)
2	Contadores Inteligentes
3	Aplicaciones Multi-utility
4	Concentrador
5	Dispositivos de seccionamiento
6	Recursos distribuidos (generación y almacenamiento)
7	Control y manejo de la microrred
8	Protección

Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Gestión de la Demanda y Eficiencia Energética

Arreaga, et al. (2005), señalan que la Gestión de la Demanda es la proyección y ejecución de directrices enfocadas a contribuir en la conducta de los usuarios para reducir la utilización diaria, apoyando a disminuir la contaminación, y a optimar la unificación de energía renovable en la red eléctrica y extender la eficacia de energía; estos elementos son esenciales en el avance de redes inteligentes dado que por sus mecanismos y herramientas tecnológicas

están en camino de lograr una óptima administración de los requerimientos de los usuarios.

Asimismo, conseguir la eficacia en la conservación y restauración autónoma (pág. 22)

Beneficios de la Gestión de la Demanda

Arreaga, et al. (2005) indican que los mayores beneficios son:

Optimizar la relación entre a demanda del sistema y la producción
Ahorro en el costo energético de los consumidores debido a la modificación de su patrón de consumo y la disminución de la demanda
Aumento de la seguridad del suministro al disminuir la probabilidad de cortes o apagones gracias a la reducción de la demanda en las horas pico.
Reducción de la congestión y pérdida en redes de transmisión y repartición, logrando una operación más segura y económica
Depreciación en el requerimiento de costos para que los generadores cubran los picos de la red y los almacenamientos de la potencia.
Introducción de nuevos productos para el consumidor que incrementan la calidad de servicio y permiten una mayor estabilidad de los precios
Incremento de la capacidad de unificación en los sistemas de energía renovable.

Medidas para la Gestión de la Demanda

La adecuada administración conlleva a la obtención de beneficios económicos, sin embargo, es necesario el uso de mecanismos de inspección y supervisión para que pueda darse un uso autónomo ahorrando algunos costos.

Las acciones que debemos realizar se catalogan en conjuntos de acuerdo al impacto que presentan en la curva de demanda”

Eficiencia Energética

Renova (2015) define a la Eficiencia Energética como la habilidad de utilizar menor volumen de generando igual volumen de irradiación, iluminación y calor u otros productos de

energía. Constituye una acción habitual en diferentes naciones a causa de los exorbitantes costos en la adquisición de la electricidad, y la reserva de recursos energéticos y las ascendentes situaciones de contaminación ambiental producidos por su consumo, distribución y producción (pág. 23-24).

2.3.4. El Medidor Inteligente

Arciniegas (2012) indica que el Smart metering o medidor inteligente es el procedimiento de medición y cuantificación de la electricidad usada u otorgada al sistema, además de ser enviada toda la información recaudada a las compañías a través de TIC. También se operan los dispositivos obligatorios en el caso de establecer una desconexión-conexión por ICP o interruptores de control de potencia, que se integran al interior del contador de electricidad. Asimismo, los conceptos AMR y AMT proceden del Smart metering.

Figura 2-15

Medidor inteligente bidireccional



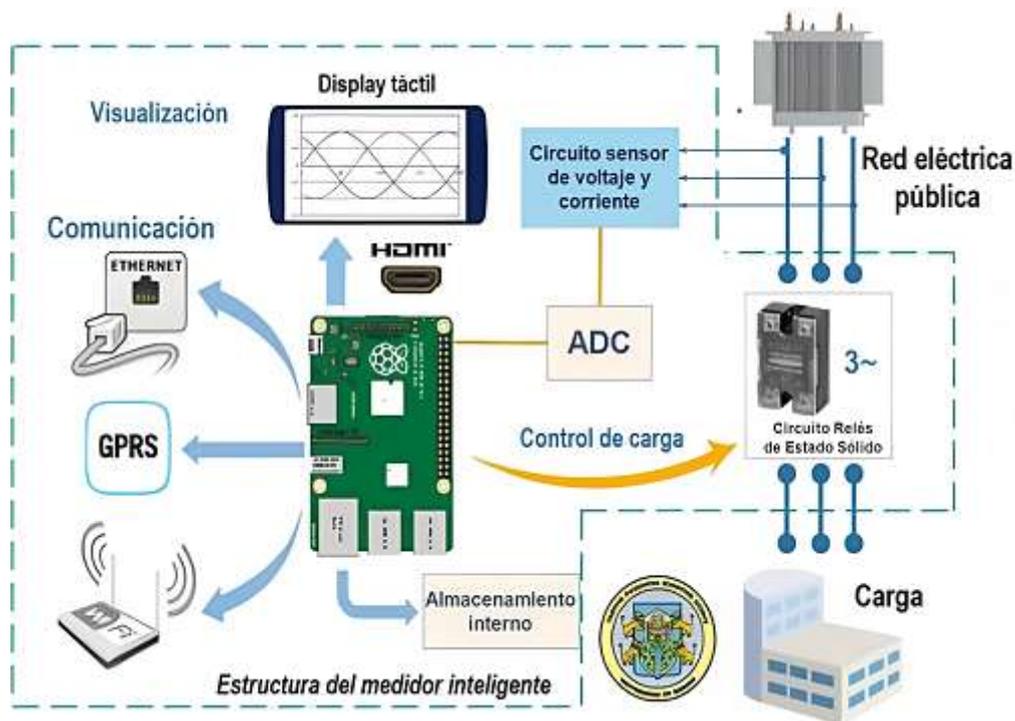
Fuente: Enel Smart Metering Solution

Arciniegas (2012), señala que los requisitos esenciales para el esbozo del mecanismo para medir son: la categoría para medir las acciones realizadas en baja tensión, considerando una corriente de 100 A, diferentes medios de notificación para interrogar acerca de las medidas

tomadas en la red local. Interfaz gráfica del cliente para su control remoto o directo; la necesidad de ser capaz de integrar un programa de computador para el Control, Inspección, y Recopilación de Información.

Figura 2-16

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



Fuente: Papers del artículo

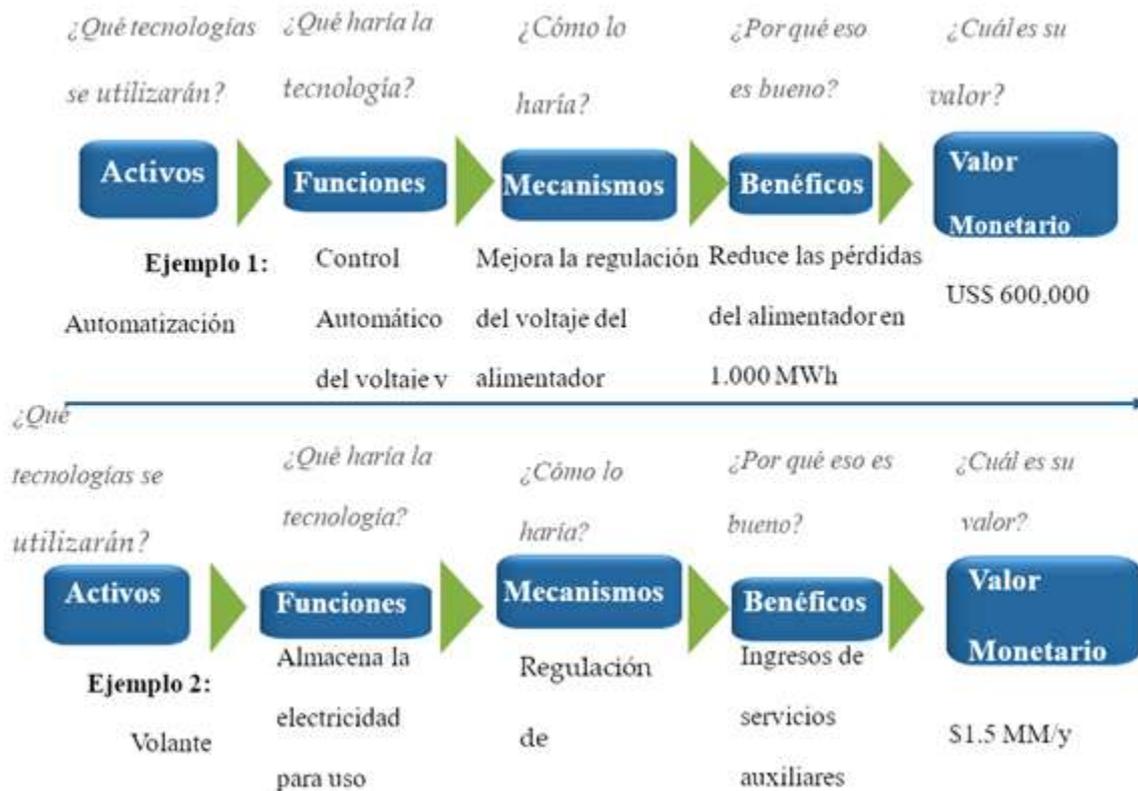
2.3.5. Redes Inteligentes o Smart Grid: ¿Qué son las Redes Inteligentes?

Las Smart Grids corresponden a la integración de redes eléctricas que unifican herramientas tecnológicas de las comunicaciones y redes digitales, con el objetivo de ejecutar la medición control, supervisión y protección que certifiquen una administración directa y eficaz con el fin de lograr confianza y altos estándares a menos precio.

El procedimiento de observación, investigación y evaluación del despliegue de Smart Grid se explica y expresa resumidamente en una sucesión de cuestionamientos presentados en la figura 2.17.

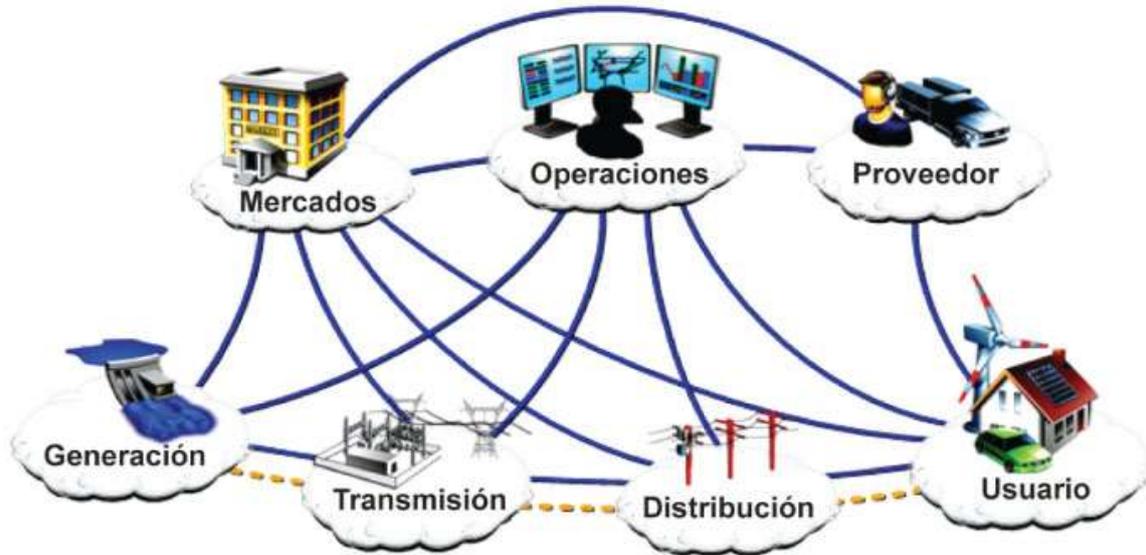
Figura 2-17

Proceso de análisis para implementación de Smart Grid



Fuente: <https://www.smartgrid.gov>

Poma (2015), refiere diverentes denominaciones que acondiciona e unifica las herramientas tecnológicas de control, comunicación y medición conexas a la red eléctrica. Del mismo modo, la compañía “The American economic association (AEA) menciona que la incorporación de herramientas tecnológicas digitales y de comunicación son parte de la unificación de la red eléctrica con el objetivo de juntar data originaria del sistema electrónico y cambiarlos en datos y actividades que encaminen el aumento de la eficiencia, calidad del producto de la administración con el fin de enfrentar nuevos retos y tipos de uso.

Figura 2-18*Modelo de una Red Inteligente*

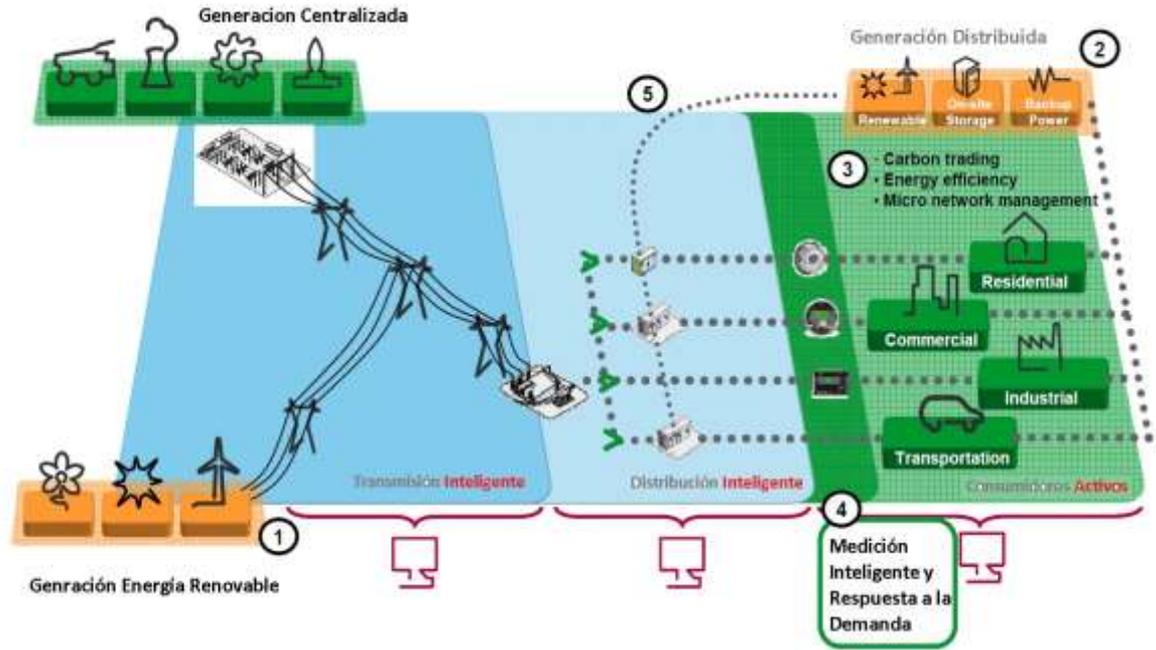
Fuente: Modelo conceptual de una REI según el Instituto Nacional de Normas y Tecnología de Estados Unidos

La NARUC menciona que una red inteligente se compone de un sistema de datos unificados con la producción, distribución y transformación de electricidad y herramientas tecnológicas que permitan:

- Plantear que se ejerza la decisión de elegir al prototipo de usuario, consintiendo a los consumidores a administrar el uso y los ofrecimientos más eficientes económicamente factibles.
- Perfeccionar la seguridad y confianza usando la sistematización y tratamientos de datos, y acciones automatizadas de capitales variados para conservar el sistema de entrega estable.
- Incorporar el uso de energía renovable.

Figura 2-19

Componentes de sistema de Smart Grid



Fuente: The National Association of regulatory utility commissioners (NARUC)

Figura 2-20

Tecnologías de Smart Grid



Fuente: Osinergmin

Particularidades de la red inteligente:

- ❖ Segura e inteligente, esta debe ser competente para operar y proteger automáticamente, con seguridad y simpleza. Posee datos en tiempo real para la maniobra y el sostenimiento. Esto Permitirá los traspasos sin que se interfiera en la acción.
- ❖ Optimizada, con el objetivo de realizar una excelente utilización de los patrimonios, recursos y equipos ya obtenidos.
- ❖ Eficiente, que permitirá complacer el aumento de las solicitudes de energía menguando los requerimientos de la red concesionaria.
- ❖ Integrada, fortalece la protección, mantenimiento, y control con sistemas EMS y DMS, mercantilización y TIC.
- ❖ Flexible, la cual se tiene que adaptar a los requerimientos variados de la red eléctrica y flujos bidireccionales entre proveedores- consumidores.
- ❖ Abierta, debe permitir la integración de los numerosos procesos tecnológicos de producción renovable. Proporciona facilidades para el progreso del consumo y venta de la electricidad de forma externa e interna. Accede a generar circunstancias oportunas de mercadeo y la unificación de tecnologías “plug and play”.
- ❖ Interactiva, comunicación entre mercados y clientes en tiempo real.
- ❖ Predictiva: Previene las emergencias a través de planificación y automatización del área antes de que los errores sucedan.
- ❖ Distribuida: deberá permitir al usuario realizar la producción, pero en pequeña escala.
- ❖ Sostenible, deberá obedecer la normativa sobre el tratamiento sostenible y requerimientos para ser amigable con el ambiente.

CAPITULO III

3. Diagnóstico y Evaluación del Sistema Sicuani

3.1. *Introducción*

Para satisfacer los objetivos del proyecto de tesis, es de vital importancia, conocer las condiciones de operación actual y la ubicación de toda la infraestructura del sistema eléctrico Sicuani que está conformada por 05 alimentadores de media tensión denominados SI-01, SI-02, SI-03, SI-05, estos alimentadores de media tensión se extienden a lo largo de las provincias de Canchis, y parte de las provincias Canas, Espinar y Chumbivilcas.

El diagnóstico se realizó en condiciones normales de operación y comportamiento actual de la red primaria, haciendo hincapié en las pérdidas técnicas, cargabilidad, nivel de tensión y factor de carga, todo ello, aumentará el conocimiento y la comprensión acerca del problema a solucionar; por ello, se expone en el presente capítulo, una descripción general de los alimentadores de media tensión del sistema eléctrico Sicuani y también el diagnóstico de las pequeñas centrales generadoras de dicho sistema eléctrico que son:

- ✓ Pequeña Central Hidroeléctrica de Hercca
- ✓ Pequeña Central Hidroeléctrica de Langui

3.2. *Descripción y Diagnóstico del Sistema Electrico Sicuani*

3.2.1. Subestación de Sicuani

La subestación de transformación Sicuani es fuente de la distribución de energía eléctrica pues recibe de la línea de 10.5 kV de la subestación Puente Arturo. Siendo es el único centro de distribución que alimenta a la ciudad, cuenta con un transformador con las siguientes características.

Tabla 3-1

Análisis de cargabilidad de subestaciones de transformación

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				MVA										
SET/DEVANADO	PROPIETARIOS	kV	MVA	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
DOLORESPATA	EGEMSA	138/10	54.4	38.79	40.2	41.72	43.35	45.1	46.97	48.96	51.08	53.33	55.73	58.26
QUENCORD 10	PEP	10	24.5	22.47	23.3	24.19	25.15	26.18	27.27	28.44	29.69	31.01	32.41	33.9
QUENCORD 33	PEP	33	10.5	5.50	5.75	7.06	7.33	7.62	7.92	8.23	8.56	8.91	9.27	9.45
QUENCORD 138	PEP	138	35	27.97	29.04	31.25	32.48	33.79	35.19	36.67	38.25	39.92	41.68	43.55
SICUANI 60/10	ELSE	60/10	7	6.84	7.09	7.34	7.59	7.85	8.10	8.37	8.64	8.91	9.20	9.49
COMBAPATA 24	PEP	24	8	6.57	6.77	6.97	7.18	7.38	7.59	7.81	8.03	8.25	8.48	8.72
COMBAPATA 66	PEP	60	7	6.84	7.09	7.34	7.59	7.85	8.10	8.37	8.64	8.92	9.20	9.49
COMBAPATA 138	PEP	138	15	13.40	13.86	14.31	14.77	15.23	15.70	16.17	16.66	17.16	17.68	18.21
URUBAMBA 10	ELSE	10	9	4.22	4.47	4.73	5.00	5.27	5.56	5.84	6.14	6.45	6.77	7.11
URUBAMBA 23	ELSE	23	19	1.10	1.15	1.19	1.24	1.29	1.34	1.39	1.45	1.50	1.56	1.62
URUBAMBA 60	ELSE	60	19	5.32	5.62	5.93	6.24	6.57	6.90	7.24	7.59	7.96	8.34	8.73
PISAC 10	ELSE	20	2.5	1.93	2.05	2.17	2.29	2.41	2.54	2.67	2.81	2.95	3.10	3.25
PISAC 23	ELSE	23	9	1.61	1.71	1.81	1.91	20.20	2.13	2.24	2.35	2.17	2.59	2.72
PISAC 60	ELSE	60	7	3.54	3.76	3.98	4.20	4.43	4.67	4.91	5.16	5.42	5.69	5.97
HUARO 10	ELSE	10	2	1.06	1.12	1.18	1.25	1.31	1.39	1.46	1.54	1.62	1.71	1.80
HUARO 23	ELSE	23	2	2.00	2.11	2.23	2.35	2.48	2.62	2.76	2.90	3.00	3.10	3.20
HUARO 33	ELSE	33	4	3.06	3.23	3.41	3.60	3.80	4.00	4.22	4.48	4.69	4.93	5.20
OROPESA 10	ELSE	33/10	2.5	2.44	2.51	3.65	3.73	3.82	3.92	4.01	4.12	4.22	4.34	4.45
CACHMAYO 10	EGEMSA	10	3	2.82	2.98	3.15	3.33	3.51	3.70	3.89	4.10	4.31	4.53	4.76
CACHMAYO 138 (1)	EGEMSA	138	6	2.82	2.98	3.15	3.33	3.51	3.70	3.89	4.10	4.31	4.53	4.76
CACHMAYO 23	EGEMSA	23	7	4.44	4.52	4.59	2.56	2.64	2.73	2.81	2.90	3.00	3.10	3.20
CACHMAYO 60	EGEMSA	60	15	8.86	9.38	9.91	15.45	16.00	16.57	17.15	17.76	18.38	19.03	19.70
CACHMAYO 138 (2)	EGEMSA	138	15	13.31	13.90	14.50	18.01	18.64	19.29	19.97	20.66	21.38	22.12	22.90
TAMBUPICO 12 Z	ELSE	13.2	15	8.43	8.82	9.21	9.63	10.06	10.50	10.97	11.46	11.96	12.49	13.05
TAMBUPICO 60	ELSE	60	35	24.35	25.70	26.38	27.10	27.84	27.93	28.74	29.58	30.45	31.37	32.32
TAMBUPICO 138	ELSE	138	50	32.79	34.51	35.60	36.72	37.90	38.43	39.71	41.03	42.42	43.86	45.37
ANDAHUAYLAS 13.2	ELSE	13.2	9	5.01	5.24	5.48	5.72	5.98	6.24	6.52	6.81	7.11	7.42	7.75
ANDAHUAYLAS 23	ELSE	23	5	6.47	6.77	7.07	7.39	7.72	8.06	8.42	8.79	9.18	9.59	10.01
ANDAHUAYLAS 60	ELSE	60	13	11.49	12.01	12.55	13.11	13.69	14.30	14.94	15.60	16.29	17.01	17.76
CHACAPUENTE 60/23	ELSE	60/23	7	1.64	1.72	1.79	1.87	1.96	2.04	2.13	2.23	2.22	2.43	2.54
CHUCUBAMBILLA 60/23	ELSE	60/23	7	3.04	3.79	3.86	3.93	4.00	3.40	3.48	3.56	3.65	3.74	3.84
URPIPATA 10	ELSE	10	7	5.35	5.80	6.27	6.77	7.30	7.86	8.45	9.07	9.73	10.41	11.01
URPIPATA 23	ELSE	23	2	0.52	0.56	0.61	0.66	0.71	0.76	0.82	0.88	0.95	1.01	1.08
URPIPATA 60	ELSE	60	23	5.87	6.36	6.88	7.43	8.01	8.63	9.27	9.95	10.67	11.43	12.22
MACHUPICCHU 10	ELSE	10	5	2.43	2.58	2.73	2.89	3.04	3.20	3.37	3.54	3.72	3.91	4.10
MACHUPICCHU 60	ELSE	60	20	11.11	11.94	12.81	13.73	14.71	15.74	16.82	17.96	19.17	20.44	21.77
MACHUPICCHU 128	ELSE	138	25	13.55	14.52	15.54	16.62	17.75	18.94	20.19	21.51	22.89	24.34	25.87
CHAHUARES 60/23	ELSE	60/23	7	4.04	4.27	4.52	4.78	5.05	5.34	5.65	5.97	6.31	6.67	7.05
SANTA MARIA 60/23	ELSE	60/23	4	1.20	1.30	1.41	1.52	1.64	1.77	1.90	2.04	2.19	2.34	2.50
TINTAYA	PEP	10	25	21.01	21.20	21.39	21.60	21.81	22.03	22.27	22.52	22.77	23.04	23.33
PUERTO MALDONADO 10	ELSE	10	25	21.01	21.20	21.39	21.60	21.81	22.03	22.27	22.52	22.77	23.04	23.33
PUERTO MALDONADO 23	ELSE	23	15	5.62	7.01	11.56	15.07	15.44	15.82	16.22	16.62	17.05	17.48	17.94
PUERTO MALDONADO 138	ELSE	138	35	17.95	20.21	25.67	30.11	31.44	32.82	34.24	35.72	37.25	38.85	40.50
MAZUCO 138/23	ELSE	145/23	12	1.52	1.62	1.72	1.83	1.94	2.06	2.18	2.30	2.43	2.56	2.70

Fuente: Gerencia de operaciones (Electro Sur Este S.A.A.).

Tabla 3-2*Datos del transformador de transformación Sicuani*

CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR	DESCRIPCION	UNIDAD
Marca	Stromberg	.
Empresa	Electro Sur Este S.A.A.	ELSE
Tipo	Transformador Trifásico	T
Nº serie	5187834	.
P _N Potencia nominal	7	MVA
Relacion de transformación	60/10.5	KV
Tensión Nominal Primario	60	KV
Tensión Nominal Secundario	10.5	KV
Frecuencia	60	Hz
Grupo de conexión	YNd5	.

Fuente: Área de Perdidas - Electro Sur Este S.A.A

3.2.2. Alimentadores del Sistema Sicuani

El sistema eléctrico Sicuani está conformado por 04 alimentadores, los cuales se detallan a continuación con su respectiva descripción física:

- **Alimentador SI-01**

Tabla 3-3*Descripción física del alimentador SI-01*

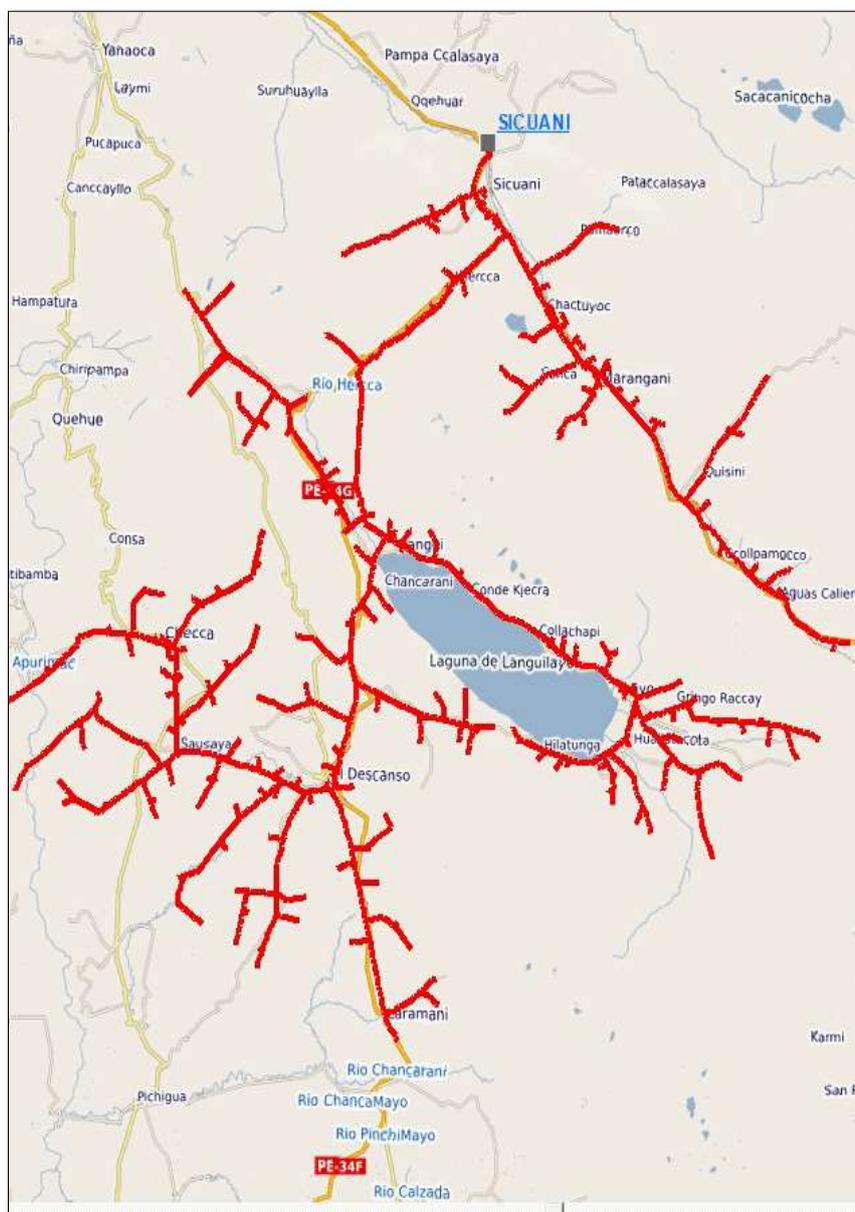
Descripción de Ruta	Marangani, Layo, Langui, Checca, Kunturkanki, Sicuani
Estructura	Concreto 42.3%, Madera 57.7%
Red eléctrica	Aérea
Sistema	Trifásico y Monofásico
Cantidad de Conductores	3 y 2
Tipo de Conductor	Aluminio, Cobre pequeños tramos
Calibre de Conductor	120, 70, 50, 35, 25, 16, 10 mm ² AAAC, NYY y CU-DES
Longitud	421.091 km
Configuración	Radial y en anillo con el alimentador SI-02 y SI-05
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
Elaboración: Propia

Este alimentador recorre zonas rurales, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de madera, tiene un solo tipo de red eléctrica (aérea), el tipo de sistema es monofásico y trifásico con una longitud de 421.091 Km es el más extenso dentro de los alimentadores de Sicuani y tiene una configuración radial y en anillo.

Figura 3-1

Extensión de alimentador de media tensión SI-01



Fuente: Elaboración propia

- **Alimentador SI-02**

Tabla 3-4*Descripción física del alimentador SI-02*

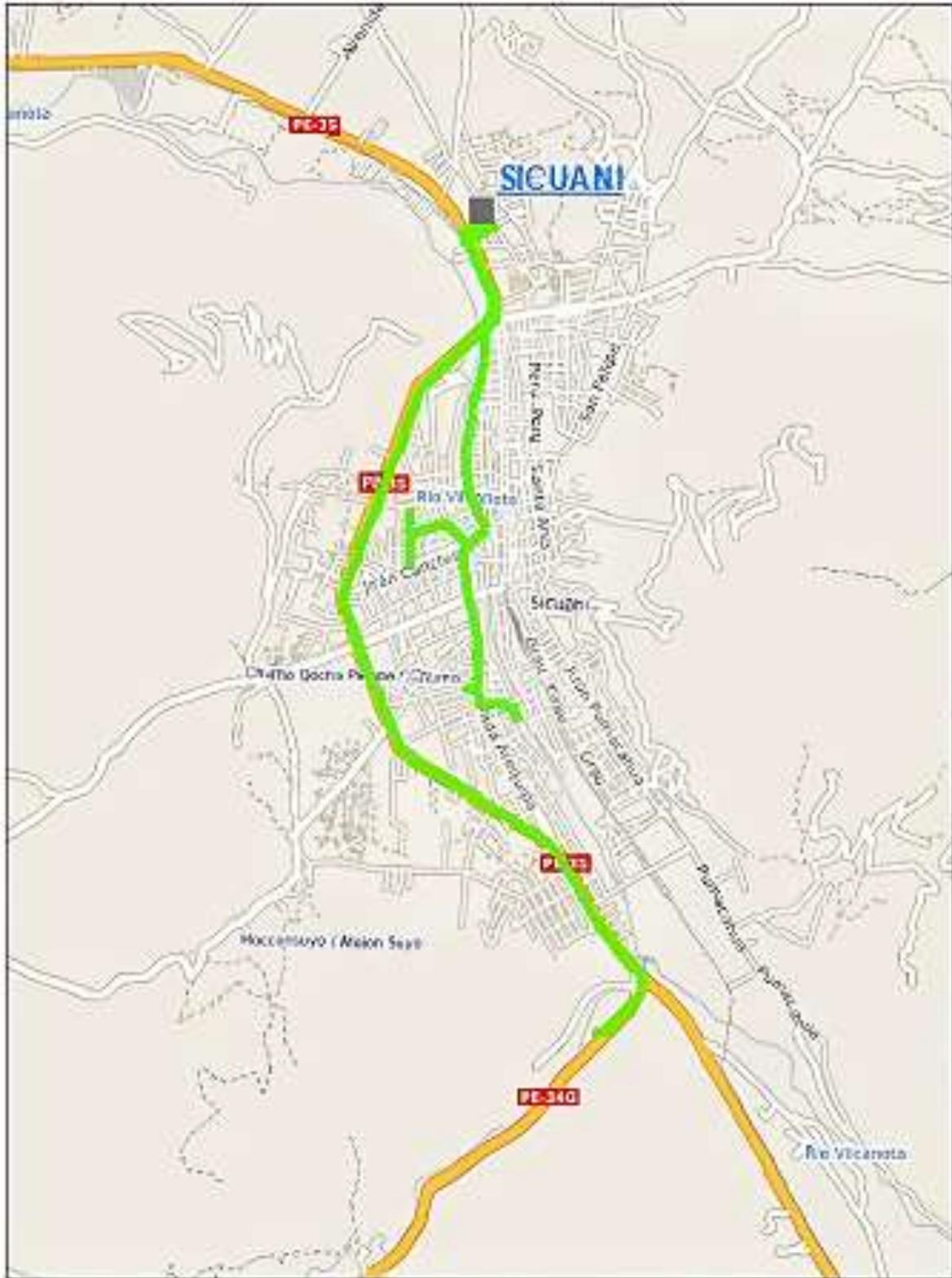
Descripción de Ruta	Sicuani
Estructura	Concreto 100%
Red eléctrica	Aérea y Subterránea en tramos cortos
Sistema	Trifásico
Cantidad de Conductores	3
Tipo de Conductor	Cobre y Aluminio en pequeños tramos
Calibre de Conductor	120, 70, 35, 16, mm ² AAAC, NYY, CU-DES y NA2XS2Y
Longitud	4.577 km
Configuración	Radial y en anillo con el alimentador SI-01 y SI-05
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
 Elaboración: Propia

Dicho alimentador recorre zona urbana, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, siendo un tipo de red eléctrica principalmente aérea y en tramos cortos subterránea, con un tipo sistema tipo trifásico y longitud de 4.577 km, siendo el tramo más corto dentro de los alimentadores de Sicuani y tiene una configuración radial y en anillo.

Figura 3-2

Extensión del alimentador de media tensión SI-02



Fuente: Elaboración propia

- **Alimentador SI-03**

Tabla 3-5*Descripción física del alimentador SI-03*

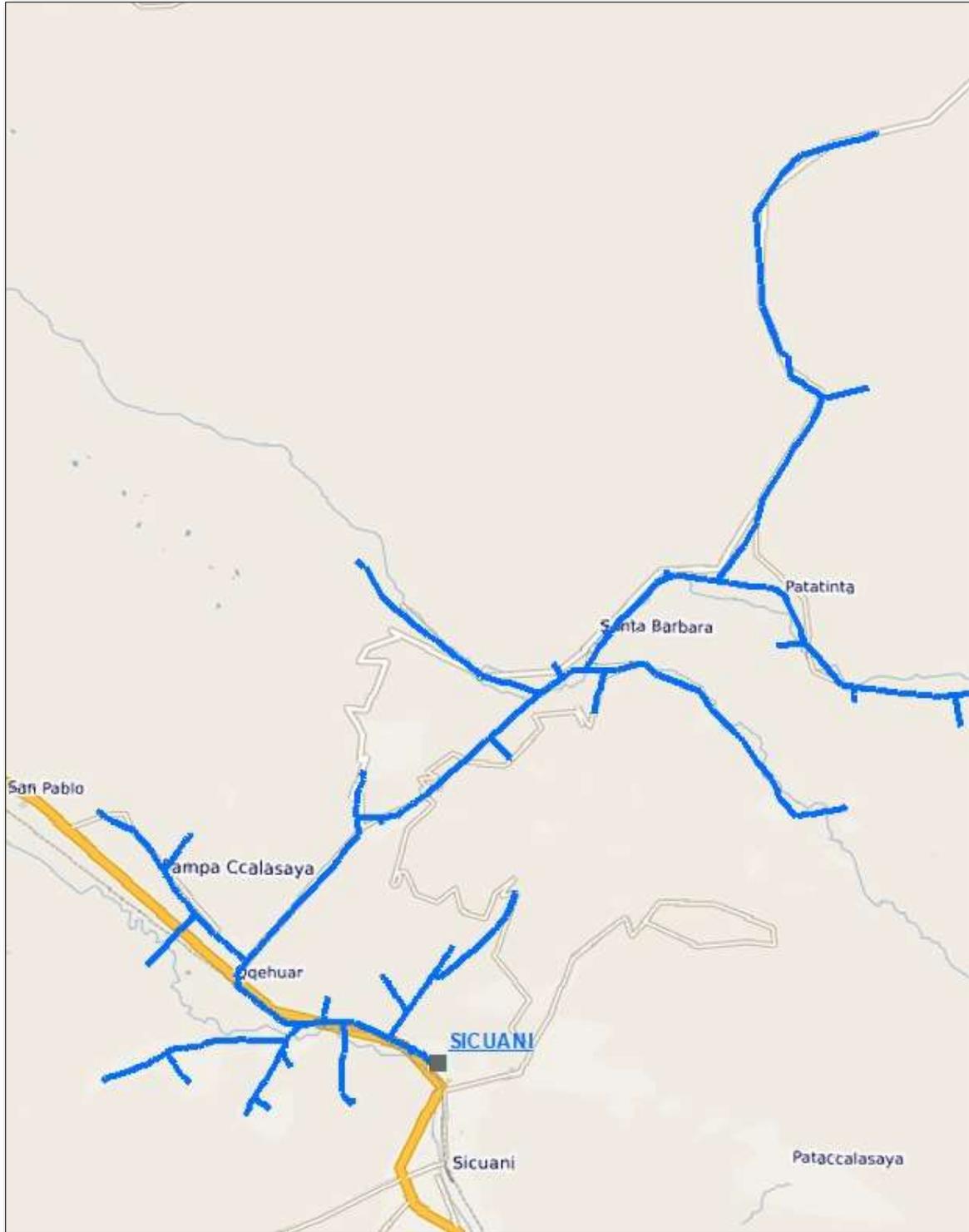
Descripción de Ruta	Sicuani, San Pablo
Estructura	Concreto 67.2%, Madera 32.8 %
Red eléctrica	Aérea y Subterránea en tramos cortos
Sistema	Trifásico, Monofásico y Bifásico y MRT
Cantidad de Conductores	3,2 y 1
Tipo de Conductor	Cobre y Aluminio
Calibre de Conductor	120, 50, 35, 25, 16, mm ² AAAC, NYY y CU-DES
Longitud	63.234 km
Configuración	Radial
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
 Elaboración: Propia

Gran parte de este alimentador recorre zona urbana y rural, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, con un tipo de red eléctrica principalmente aérea y en tramos cortos subterránea, con un sistema tipo bifásico, trifásico, monofásico y una longitud de 63.264 km, es el único que presenta configuración radial dentro de los alimentadores de Sicuani.

Figura 3-3

Extensión del alimentador de media tensión SI-03



Fuente: elaboración propia

- **Alimentador SI-05**

Tabla 3-6

Descripción física del alimentador SI-05

Descripción de Ruta	Sicuani
Estructura	Concreto 96.8%, Madera 3.2 %
Red eléctrica	Aérea y Subterránea en tramos cortos
Sistema	Trifásico, Monofásico
Cantidad de Conductores	3,2
Tipo de Conductor	Cobre y Aluminio
Calibre de Conductor	120, 70, 50, 35, 25, 16, 10 mm ² AAAC, NYY y CU-DES y NA2XS2Y
Longitud	22.590 km
Configuración	Radial y anillo con el alimentador SI-01 y SI-02
Estado	Bueno

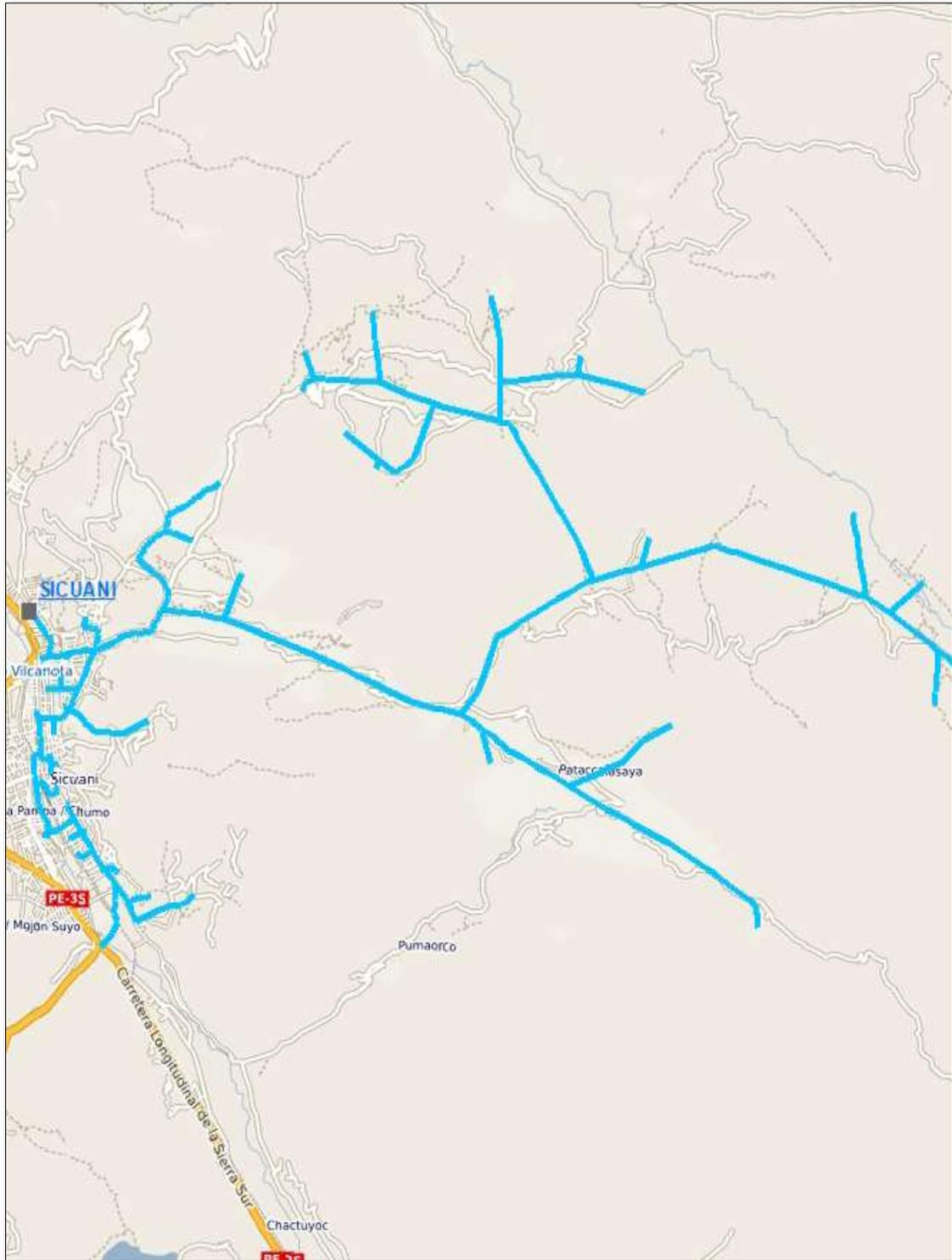
Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A

Elaboración: Propia

Dicho alimentador recorre zona urbana, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, con un tipo de red eléctrica principalmente aérea y en tramos cortos subterránea, con un sistema tipo monofásico y trifásico en tramos cortos, con una longitud de 22.590 km y tiene una configuración radial y en anillo.

Figura 3-4

Extensión del alimentador de media tensión SI-05



Fuente elaboración propia

3.3. Subestación de Combapata

En Centro de Transformación Combapata es donde se distribuye la energía eléctrica que viene desde la línea de transmisión en 60 kV de la Subestación de Sicuani en el Departamento de Cusco.

Tabla 3-7

Datos del transformador de transformación de Combapata

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
cód. Del transformador	Combapata	(CO)
Empresa	REP	-
Fabricante	Alstom	-
Tipo	Autotransformador	AT
Modelo	MICOM P141	-
Potencia	15	MVA
Potencia Aparente Nominal	15/07/2008	MVA
Relación de transformación	138/60/24	KV
Tensión Nominal Primario	138	KV
Tensión Nominal Secundario	60	KV
Tensión Nominal Terciario	24	KV
Corriente Nominal	62.76/61.23/192.45	AT
Grupo de Conexión	YNdn0/YNd11/YNd11	-
Frecuencia	60	Hz
Refrigeración	ONAN	-
N.º de Taps	5	-
Fases	RSTN	-
Disponibilidad	En Operación	-

Fuente: Coes Sinac

Elaboración: Propia

3.3.1. Alimentadores del Sistema Combapata

El sistema eléctrico Combapata está conformado por 05 alimentadores, los cuales se detallan a continuación con su respectiva descripción física.

- **Alimentador CO-01**

Tabla 3-8*Descripción del alimentador CO-01*

Descripción de Ruta	Combapata y Checacupe
Estructura	Concreto 71.3%, Madera 28.7 %
Red eléctrica	Aérea
Sistema	Trifásico, Monofásico, Bifásico y MRT
Cantidad de Conductores	3,2 y 1
Tipo de Conductor	Aluminio y Cobreen pequeños tramos
Calibre de Conductor	50, 35, 25, 16, mm2 AAAC, CU-DES
Longitud	33.412 km
Configuración	Radial
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
Elaboración: Propia

Gran parte de este alimentador recorre zona urbana y rural, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, con una red eléctrica principalmente aérea, con un sistema tipo monofásico, trifásico, bifásico a medida que se extiende, con 33.412 Km de longitud de siendo el tramo más corto dentro de los alimentadores de Combapata.

- **Alimentador CO-02**

Tabla 3-9*Descripción del alimentador CO-02*

Descripción de Ruta	Combapata, Mosocllacta, Acopia, Checacupe, Sangarara, Pitumarca, Cusipata, Quiquijana, Urcos
Estructura	Concreto 88.3%, Madera 11.7 %
Red eléctrica	Aérea
Sistema	Trifásico, Monofásico, Bifásico y MRT a media que se extiende
Cantidad de Conductores	3,2 y 1
Tipo de Conductor	Aluminio y Cobre en pequeños tramos
Calibre de Conductor	70, 50, 35, 25, 16, 10 mm2 AAAC, CU-DES
Longitud	171.261 km
Configuración	Radial y anillo con el alimentador CO-03
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid – Electro Sur Este S.A.A
Elaboración: Propia

El alimentador recorre zona urbana y rural, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, su tipo de red eléctrica es aérea, con un sistema tipo monofásico, trifásico y bifásico a medida que se extiende, con una longitud de 171.261 Km, tiene una configuración radial y anillo.

- **Alimentador CO-03**

Tabla 3-10

Descripción del alimentador CO-03

Descripción de Ruta	Mosocllacta, Acopia, Sangarara, Acomayo, Rondoca, Pomacanchi, Acos, Pilpinto, Accha, Colcha, Tupac Amaru, Livitaca, Checca, Quehue, Pampamarca, Yanaoca
Estructura	Concreto 53.8%, Madera 46.2 %
Red eléctrica	Aérea
Sistema	Trifásico, Monofásico, Bifásico y MRT a media que se extiende
Cantidad de Conductores	3,2 y 1
Tipo de Conductor	Aluminio y Cobre en pequeños tramos
Calibre de Conductor	70, 50, 35, 25, 16, 10 mm ² AAAC, CU-DES
Longitud	456.823 km
Configuración	Radial y anillo con el alimentador CO-02
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
Elaboración: Propia

Gran parte de este alimentador recorre zona rural, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, su tipo de red eléctrica es aérea, con un sistema tipo monofásico, bifásico, trifásico, conforme se extiende, con una longitud de 456.823 Km, tiene una configuración radial y anillo.

- **Alimentador CO-04**

Tabla 3-11*Descripción del alimentador CO-04*

Descripción de Ruta	Mosocllacta, Pampamarca, Tupac Amaru, Yanaoca, Velille, Livitaca, Omacha, Chamaca, Colquemarca, Capacmarca, Mara, Tambobamba, Chalhuhhuacho, Progreso, Haquira, Quiñota, Llusco, Santo Tomas, Coyarine.
Estructura	Concreto 47.5%, Madera 41.3 % y fierro galvanizado 11.2%
Red eléctrica	Aérea
Sistema	Trifásico, Monofásico, Bifásico y MRT a media que se extiende
Cantidad de Conductores	3,2 y 1
Tipo de Conductor	Aluminio y Cobre en pequeños tramos
Calibre de Conductor	120, 70, 50, 35, 25, 16, mm ² AAAC, CU-DES
Longitud	1043.6 km
Configuración	Radial
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
Elaboración: Propia

Con énfasis en la tabla 3.11 se observa que dicho alimentador recorre zona rural, en cuanto a su estructura presenta un bajo porcentaje en postes de fierro galvanizado y un mayor porcentaje en postes de concreto y madera, su tipo de red eléctrica es aérea, con un sistema tipo trifásico, bifásico, monofásico conforme se extiende, con 1043.600 Km de longitud, siendo el tramo más largo dentro de los alimentadores de Combapata y tiene una configuración radial.

- **Alimentador CO-05**

Tabla 3-12*Descripción física del alimentador CO-05*

Descripción de Ruta	Pampamarca, Tinta, San Pedro, San Pablo, Yanaoca.
Estructura	Concreto 69.7 %, Madera 30.3 %
Red eléctrica	Aérea y Subterránea
Sistema	Trifásico, Monofásico, Bifásico y MRT a media que se extiende
Cantidad de Conductores	3,2 y 1
Tipo de Conductor	Aluminio y Cobre en pequeños tramos
Calibre de Conductor	70, 50, 35, 25, 16, mm ² AAAC, NYY y CU-DES
Longitud	78.329 km
Configuración	Radial
Estado	Bueno

Fuente: Área del Sid - Electro Sur Este S.A.A
 Elaboración: Propia

Gran parte de este alimentador recorre zona urbana y rural, en cuanto a su estructura presenta mayor porcentaje en postes de concreto, su tipo de red eléctrica es aérea y subterránea, con un sistema tipo monofásico, trifásico, bifásico conforme se extiende, con una longitud de 78.329 Km, es de configuración radial.

3.4. Fuentes de Generación Eléctrica Distribuida en el Sistema Electrico Sicuani.

3.4.1. Descripción de la Pequeña Central Hidroeléctrica Hercca

Respecto a la C.H. de Hercca, esta central pertenece políticamente al distrito de Sicuani, provincia de Canchis y de la Región del Cusco. Situado a 3740 msnm, se encuentra a la margen del río del mismo nombre entre el poblado de Hercca y la laguna de Langui-Layo. Esta central posee tres grupos de generación, presentando dos tuberías de presión a una altura de 96.46 m con las cuales abastecen a las unidades de generación, actualmente están operando los tres grupos las 24 horas, los grupos I y II son del tipo turbina Michel Banki con una potencia generada de 0.3 MW respectivamente, se conectaron a la red el año 2007 y el grupo III con

turbina tipo francis con una potencia generada de 0.42 MW el año 1997, con lo cual totalizara una potencia generada de 1.02 MW, no llegando a su potencia instalada debido al estado rústico y artesanal del canal de aducción, ya que al aumentar el caudal se incrementa la cantidad de partículas en suspensión desgastando prematuramente los componentes de la pequeña central hidroeléctrica.

La central hidroeléctrica (C.H.) de Hercca opera en un esquema de acoplamiento en paralelo al AMT SI-01(22.9/10.5 KV), estando conectada al sistema a través de la red de 22.9 kV hasta la subestación Puente Arturo de Sicuani (22.9/10.5 kV). Desde allí, la energía fluye a través de una línea de 10.5 kV que se extiende hasta la subestación Sicuani (66/10.5 kV).

El sistema en cuestión suministra energía a una variedad de cargas, incluyendo usos domésticos, comerciales, pequeñas industrias y cargas especiales. Por esta razón, es crucial garantizar un suministro eléctrico continuo y confiable, ya que cualquier interrupción en el servicio representa pérdidas económicas tanto para los usuarios finales como para la empresa distribuidora.

Generadores – Grupo 01 y 02

Tabla 3-13*Descripción de la pequeña central hidroeléctrica de Hercca grupos de generadores I y II*

I. DATOS GENERALES I						
Ubicación		Departamento	Provincia	Distrito		
Maca		Cusco	Canchis	Sicuani		
Altura bruta(m)		116	Costo Aproximado	\$1'523,025.00		
Caudal(m ³ /s)		3.3	potencia Efectiva (kW)	736		
Potencia Instalada (kW)		763	Horas diarias de Operación	24 Hrs		
Nro. de Revoluciones (RPM)		1200	Horas anuales de Operación	8500 Hrs		
Estado	Operativo	X	Factor de carga	0.9		
	No Operativo					
II. DEL GRUPO HIDROELÉCTRICO			III. DE LAS OBRAS CIVILES			
Fabricante		Extranjeros	Descripción Breve:			
Año de puesta en servicio		1970	Bocatoma	En la trayectoria existen desarenadores y vertederos, ubicados de modo que ayuden la sedimentación de los sólidos que se pudieran filtrar hacia el interior del canal		
Nro. de Unidades		01				
Estado de conservación						
	Bueno	X		Concreto	X	
	Regular					
	Malo		Canal	Piedra	X	
Turbina	Marca	Esche Wyss		Longitud(m)	1800	
Hidráulica	Tipo	Francis	Cámara de Carga			
	Horiz. o Vert.	Horizontal	Long X Ancho X Alto(m)		2x3x3	
Volante de	Si	X	Tubería de	Material	Fierro	
Inercia	No		Presión	Diámetro(m)	0.65	
	Marca	Oerlikon		Longitud(m)	220	
	Tipo	Polos Salientes		Tipo	Compuerta	X
Generador	RPM/HZ	1200	Válvula		Mariposa	
	Potencia(kW)	736	Principal	Accionamiento	Manual	X
	Voltaje(kV)	2.3			Mecánico	

Fuente: C.H. Hercca

Elaboración: Personal

Generador – Grupo 03

Tabla 3-14*Descripción de la pequeña central hidroeléctrica de Hercca grupo de generador III*

I. DATOS GENERALES I			
Ubicación	Departamento	Provincia	Distrito
Maca	Cusco	Canchis	Sicuani
Altura bruta(m)	116	Costo Aproximado	\$1'000,250.00
Caudal(m ³ /s)	3.3	potencia Efectiva (kW)	2500 a 800
Potencia Instalada (kW)	3236	Horas diarias de Operación	24 Hrs
Nro. de Revoluciones (RPM)	720	Horas anuales de Operación	8500 Hrs
Estado	Operativo	X	Factor de carga
	No Operativo		0.9
II. DEL GRUPO HIDROELÉCTRICO		III. DE LAS OBRAS CIVILES	
Fabricante	Extranjeros		Descripción Breve:
Año de puesta en servicio	2001		En el curso de existen además 03 desarenadores y 02 vertederos, ubicados de modo que favorezcan la sedimentación de os solidos que se pudieran filtrar hacia el interior del canal
Nro. de Unidades	01	Bocatoma	Concreto
Estado de conservación			X
	Bueno		
	Regular		
	Malo	Canal	Piedra
			X
Turbina	Marca	GCZ Ingenieros	Longitud(m)
Hidráulica	Tipo	Francis	1800
	Horiz. o Vert.	Horizontal	Cámara de Carga
			Long X Ancho X Alto(m)
Volante de	Si	X	3x4x6
Inercia	No		Tubería de
			Material
	Marca	GCZ Ingenieros	Fierro
	Tipo	Polos Salientes	Presión
			Diámetro(m)
Generador	RPM/HZ	720	Longitud(m)
	Potencia(kW)	2500	220
	Voltaje(kV)	2.3	Tipo
			Compuerta
			Mariposa
			X
			Manual
			Mecánico
			X

Fuente: C.H. Hercca
Elaboración: Personal

Figura 3-5

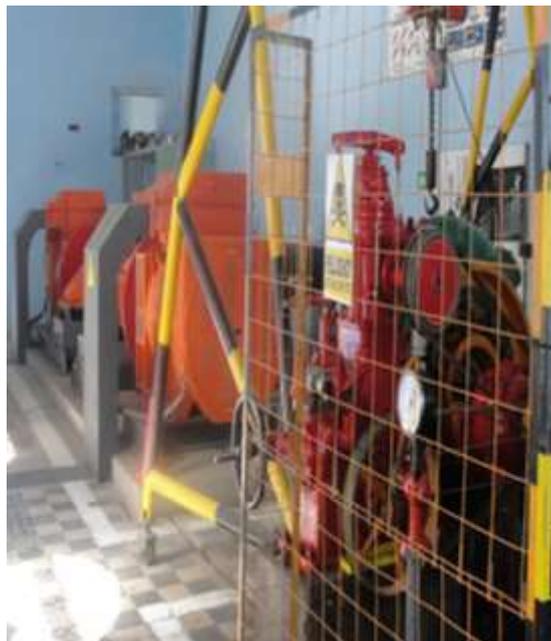
Pequeña C.H. Hercca



Fuente: Proyectos | HYDROEVAL - Ingenieros Consultores S.R.L

Figura 3-6

Grupo de generadores de la C.H. Hercca



Fuente: Elaboración Personal.

Figura 3-7

Vista panorámica de C.H. Hercca



Fuente: Elaboración Personal.

3.5. Descripción de la Pequeña Central Hidroeléctrica Langui

Esta C.H. Langui queda ubicada en la provincia Canchis, Departamento Cusco, del Perú; extrae los caudales hídricos de la Laguna Langui Layo ubicada en la provincia Canas y de la intercuenca entre la laguna y el sitio de toma de la Central.

El esquema de aprovechamiento de la pequeña Central Hidroeléctrica Langui comprende las obras de recolección de las aguas reguladas procedentes de la laguna Langui Layo, empleando la toma de fondo ubicada aproximadamente 10 km corriente abajo de la laguna, sobre el río Hercca, luego se conduce por medio de un canal superficial de 1800 m de longitud hasta la cámara de carga, de donde a través de dos tuberías forzadas, se conduce las aguas a dos unidades de generación que cuentan con turbinas Francis de 736 kW (caudal nominal 0.8 m³/s) y 2500 kW (caudal nominal 2.5 m³/s) respectivamente, trabajando ambos generadores sin interrupciones generando una potencia total de los dos grupos de 3.25 MW.

La energía generada es transportada hasta la subestación de Puente Arturo de donde se conecta con el sistema de distribución de Electro Sur Este S.A.A (Sicuani) en 10.5 kV y a la Textilera Marangani en 22.9 kV, y conectada al sistema mediante el alimentador SI-01.

Este sistema atiende cargas del tipo doméstico-comercial, cargas especiales y pequeñas industrias, por lo que es de suma importancia la continuidad del servicio de energía eléctrica.

Generador – Grupo 01

Tabla 3-15

Descripción de la C.H. Langui grupo de generador I

I. DATOS GENERALES					
Ubicación		Departamento	Provincia	Distrito	
Maca		Cusco	Canchis	Sicuani	
Altura bruta(m)		116	Costo Aproximado	\$ 1,523,025.00	
Caudal(m ³ /s)		3.3	potencia Efectiva (kW)	736	
Potencia Instalada (kW)		736	Horas diarias de Operación	24 Hrs	
Nro. De Revoluciones (RPM)		1200	Horas anuales de Operación	8500 Hrs	
Estado	Operativo	X	Factor de carga	0.9	
	No Operativo	-			
II. DEL GRUPO HIDROELECTRICO			III. DE LAS OBRAS CIVILES		
Fabricante		Extranjero	Descripción Breve:		
Año de puesta en servicio		1970	Bocatoma	En la trayectoria existen desarenadores y vertederos, ubicados de modo que ayuden la sedimentación de los sólidos que se pudieran filtrar hacia el interior del canal	
Nro. de Unidades		1			
Estado de conservación	Bueno	X			
	Regular		Canal	Concreto	X
	Malo			Piedra	X
Turbina	Marca	Escher Wyss		Longitud(m)	1800
Hidráulica	Tipo	Francis	Cámara de Carga		
	Horiz. o Vert.	Horizontal	Long X Ancho X Alto(m)	2x3x3	
Volante de Inercia	Si	X	Tubería de	Material	Fierro
	No		Presión	Diámetro(m)	0.65
	Marca	Oerlikon		Longitud(m)	220
	Tipo	Polos Salientes		Tipo	Compuerta X
Generador	RPM/HZ	1200	Válvula		Mariposa
	Potencia(kW)	736	Principal	Accionamiento	Manual X
	Voltaje(kV)	2.3			Mecánico

Fuente: C.H. Langui
Elaboración: Personal

Generador – Grupo 02

Tabla 3-16

Descripción de la C.H. Langui grupo de generador II

I. DATOS GENERALES I						
Ubicación		Departamento	Provincia	Distrito		
Maca		Cusco	Canchis	Sicuani		
Altura bruta(m)		116	Costo Aproximado	\$1'000,250.00		
Caudal(m ³ /s)		3.3	potencia Efectiva (kW)	2500 a 800		
Potencia Instalada (kW)		3236	Horas diarias de Operación	24 Hrs		
Nro. de Revoluciones (RPM)		720	Horas anuales de Operación	8500 Hrs		
Estado	Operativo	X	Factor de carga	0.9		
	No Operativo					
II. DEL GRUPO HIDROELÉCTRICO			III. DE LAS OBRAS CIVILES			
Fabricante		Extranjeros		Descripción Breve:		
Año de puesta en servicio		2001	Bocatoma	En el curso de existen además 03 desarenadores y 02 vertederos, ubicados de modo que favorezcan la sedimentación de los sólidos que se pudieran filtrar hacia el interior del canal		
Nro. de Unidades		01			Concreto	
Estado de conservación	Bueno	X			X	
	Regular					
	Malo		Canal	Piedra		
Turbina	Marca	GCZ Ingenieros		Longitud(m)		
Hidráulica	Tipo	Francis		Cámara de Carga		
	Horiz. o Vert.	Horizontal		Long X Ancho X Alto(m)		
Volante de	Si	X	Tubería de	Material	Fierro	
Inercia	No		Presión	Diámetro(m)	1.15	
	Marca	GCZ Ingenieros		Longitud(m)		
	Tipo	Polos Salientes		Tipo		
Generador	RPM/HZ	720	Válvula		Compuerta	
	Potencia(kW)	2500	Principal	Accionamiento	Mariposa X	
	Voltaje(kV)	2.3			Manual	
					Mecánico X	

Fuente: C.H. Langui.
Elaboración: Personal

Figura 3-8

La C.H. Langui



Fuente: Sala de máquinas Elaboración Personal.

Figura 3-9

Grupo de generadores de la C.H. Langui



Fuente: Elaboración Personal.

Figura 3-10

Vista panorámica de la C. H. Langui



Fuente: Elaboración Personal.

3.6. *Condiciones de Operación Eléctrica en la Provincia de Canchis*

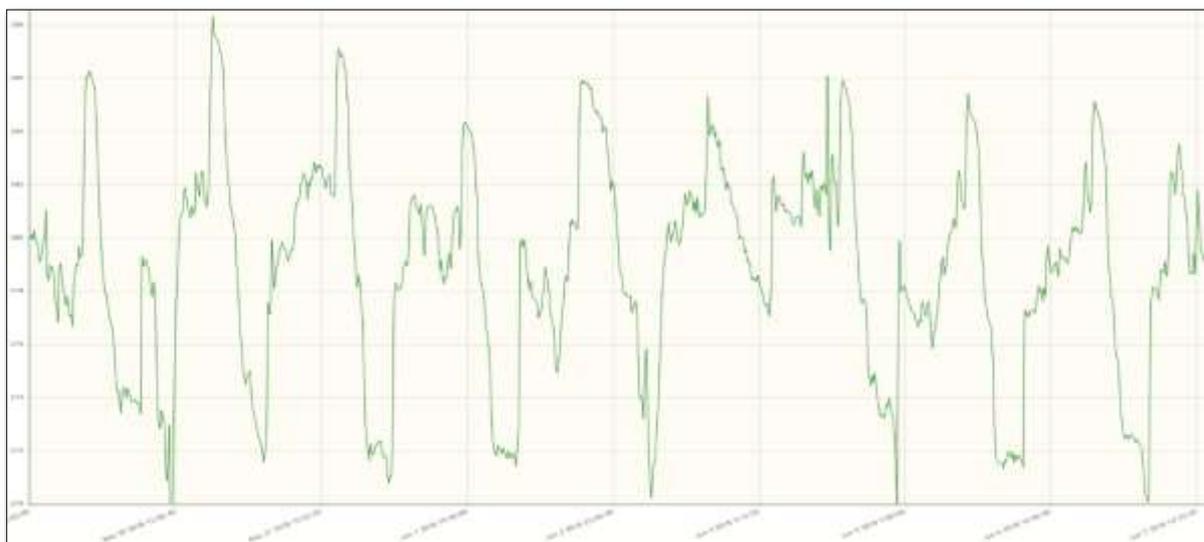
Se encuentra suministrada de energía por dos sistemas eléctricos: El sistema eléctrico Sicuani viene operando, actualmente, entre los 22.9 y 10.5 kV de nivel de tensión, con 04 alimentadores de media tensión y el sistema eléctrico Combapata con 05 alimentadores de media tensión que se extienden a lo largo de la provincia Canchis en zonas urbanas y rurales respectivamente.

3.7. *Máxima y Mínima Demanda de los Alimentadores Pertenecientes al Sistema de Canchis Sin y Con Gd*

Para la presente evaluación, como principal indicador situacional del sistema tenemos a diferentes unidades o parámetros de cálculo; obtenidos del diagrama unifilar del sistema de distribución Canchis, y de los cuadros típicos de carga y energía por alimentador, donde la máxima demanda se presenta durante las horas punta (06:00 pm a 11:00 pm).

Figura 3-11

Comportamiento de la demanda SE Sicuani



Fuente: Elaboración propia (Data histórica de medidores de energía instalados en la Subestación de Transformación)

CAPÍTULO IV

4. Análisis de Operatividad del Sistema Eléctrico de Sicuani con la Integración de Generación Distribuida 2018

4.1. Introducción

Actualmente, la generación distribuida (GD) adquirió gran relevancia debido a factores de diversa índole, por ejemplo, la limitación continua a nivel mundial del uso de recursos fósiles, el elevado precio del petróleo. Situación que motivó a muchos países a invertir en investigación y desarrollo de energías renovables con la generación distribuida (GD).

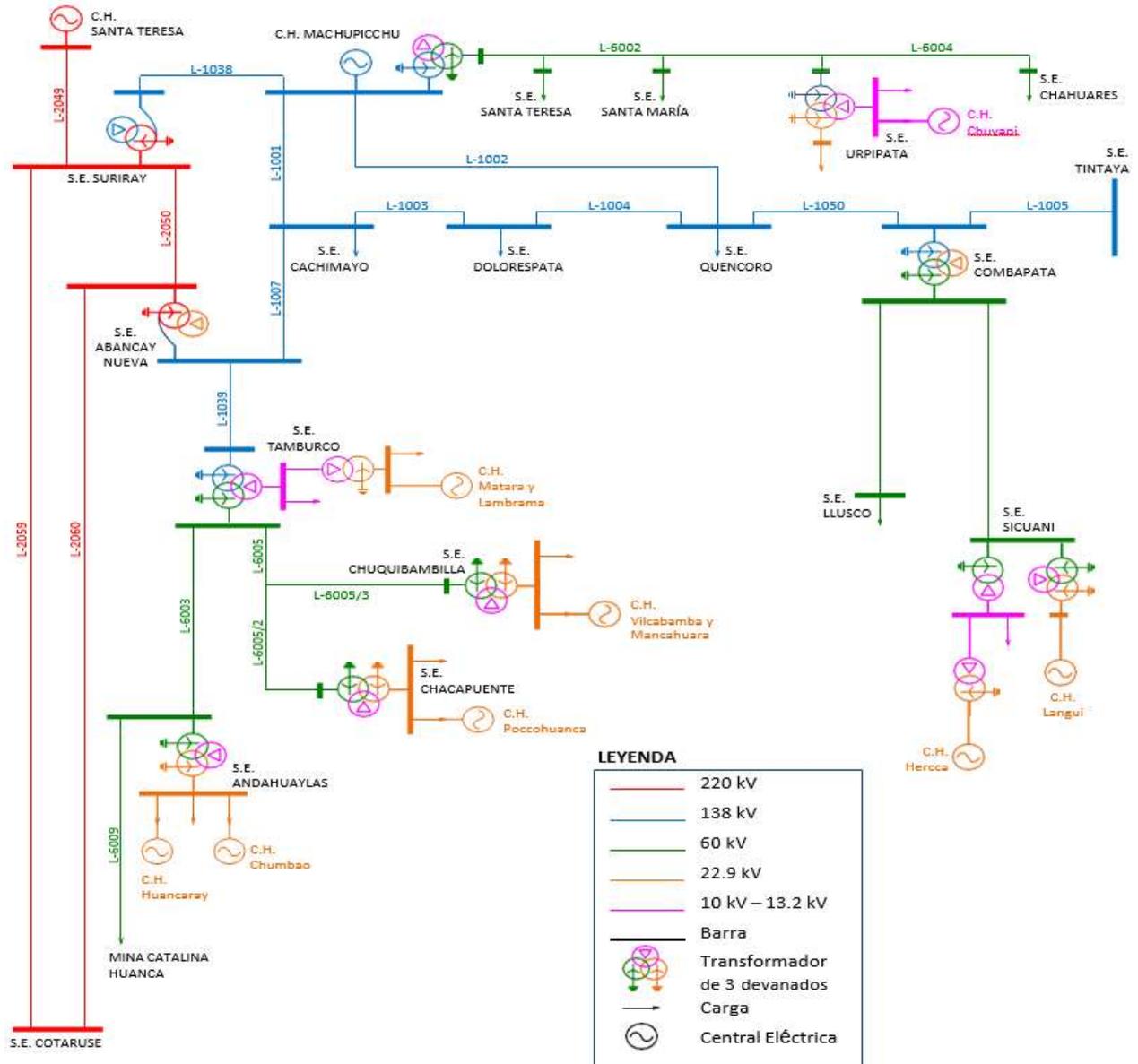
El incremento de la reactivación de las pequeñas centrales generadoras hidroeléctricas conectadas a las redes eléctricas de distribución en media. Estas conexiones crean una serie de costos y beneficios en las redes de la energía eléctrica, como son: aumentar y reducir las pérdidas de energía, la necesidad de reforzar la capacidad de transporte de las líneas y centros de transformación para dar nuevos escenarios de operación con la inyección de energías renovables como generación distribuida en redes inteligentes de media tensión 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 de Operación del Sistema Eléctrico Sicuani

El sistema eléctrico (SE) Sicuani, las pequeñas centrales hidráulicas (generación distribuida (GD) están interconectadas a los alimentadores de media tensión con equipos mediante equipos de protección y maniobra inteligente unidireccionales, las mismas que están interconectadas con la subestación de transformación (AT/MT). Como se muestra en la Figura 4.1, un panorama del diagrama unifilar del SEIN área sur este.

Figura 4-1

Ubicación de la GD y el Esquema unifilar SEIN sector Sur-Este



Fuente: Elaboración propia con datos ELSE y COES

4.3. *Ámbito Geográfico*

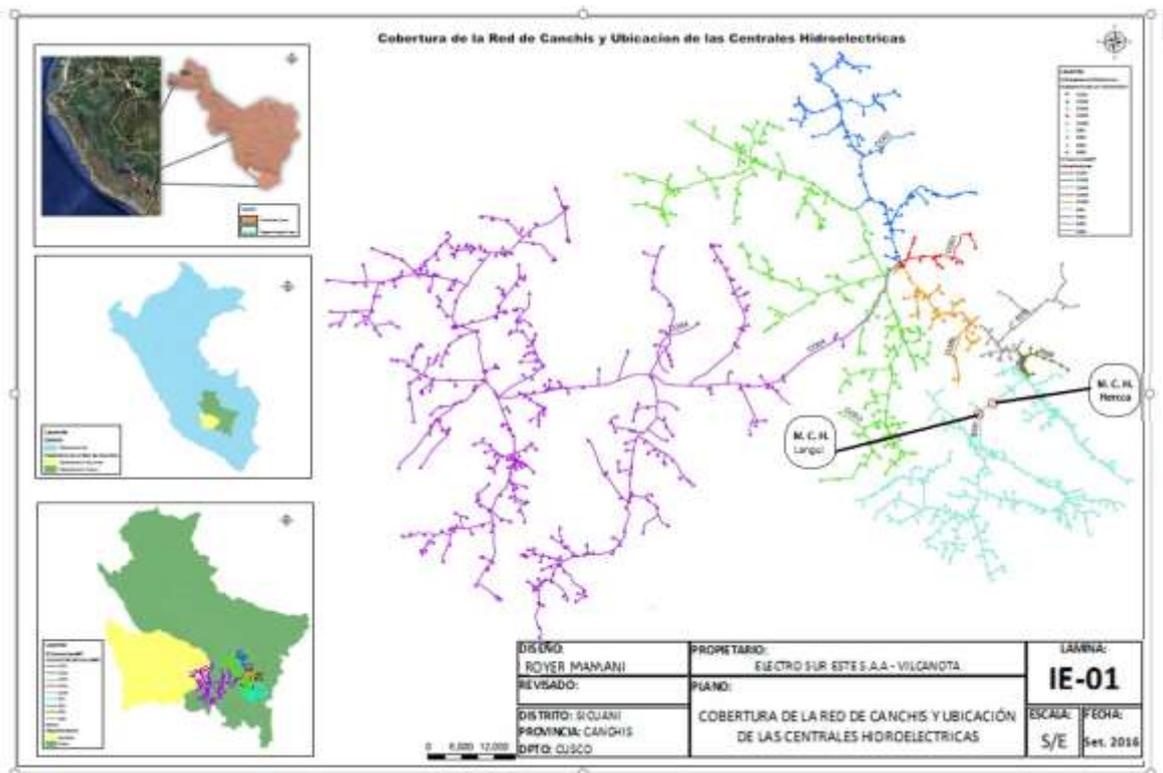
En este trabajo de investigación puso énfasis con el sistema eléctrico urbanos y rurales de la provincia de Canchis, que en 2016 suministro energía a 62936 familias.

Descripción de la geografía: La laguna Langui-Layo, pertenece políticamente a la región Cusco, más específicamente, al distrito de Sicuani y la provincia de Canchis. Sus aguas

se vierten a través del río Langui, la que luego es captada 10 km aguas abajo, a través de una toma de agua en el afluente del río Hercca. Situándose las C.H. de Langui - Hercca. a una altura entre los 3800 a 3926 m.s.n.m.

Figura 4-2

Cobertura eléctrica Canchis. Planos de ubicación



Fuente: Elaboración: personal.

Figura 4-3

C.H de Langui y Hercca - fotografía desde el satélite



Fuente: Elaboración personal con Google earth

4.4. Mercado Eléctrico

En este presente escenario la generación distribuida (GD), adquiere mayor relevancia en la generación eléctrica, a medida del constante avance tecnológico, limitaciones y grandes costos de energías fósiles a nivel mundial, por esto los países del mundo están desarrollando investigaciones 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.

4.4.1. Proyección de la Demanda al año 2018

Electro Sur Este S.A.A. la empresa concesionaria encargada del suministro de energía eléctrica en la provincia de Canchis elaboro un estudio “Plan de Desarrollo Eléctrico 2012-2018” para tener un panorama de la tendencia de la demanda en el sistema eléctrico (SE) Sicuani.

Esta proyección de la demanda 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 2018. Tabla 4.1.

Tabla 4-1

SE Sicuani: Demanda de energía eléctrica por alimentador para el año 2018

SET	AMT/AÑO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
SISTEMA ELECTRICO SICUANI	SI-01 (KW)	921	989	1028	1068	1110	1156	1201
	SI-02 (KW)	576	619	668	668	695	723	751
	SI-03 (KW)	720	773	804	835	868	904	939
	SI-05 (KW)	1662	1784	1856	1926	2004	2085	2166
TOTAL		3880	4164	4331	4496	4677	4868	5057

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

4.4.2. Métodos de Proyección

Son los siguientes:

Método econométrico

Metodología de series de tiempo

1. Metodología Econométrica

Aplicando esta técnica, de forma cualitativa, se estudia la correlación causal entre variables económicas:

- Comercialización de energía, a usuarios libres y regulados.
- Detalles de la demanda en alimentadores y sub estaciones.
- Incremento del precio promedio de potencia y energía.
- Cambio de factores de carga y perdidas de potencia en la red.
- Aumento del número de clientes finales.
- Cambio del producto bruto interno.
- Integración de nuevas cargas especiales y residenciales.

2. Métodos de tendencia o seriación de tiempo

Con las técnicas de tendencia, se utiliza para casos donde la preferencia del mercado energético es reducida con miras al futuro, en ese sentido las simulaciones trabajan a partir de esquemas de mínimo cuadrado dando como resultado correlaciones del tipo adimensional, pero

con uso estadístico, en ese sentido su validación es plausible en la medida que se compare con datos pasados, aunque estos deben tener un récord histórico completo y fiable.

4.5. Descripción del Sistema Área Sur Este.

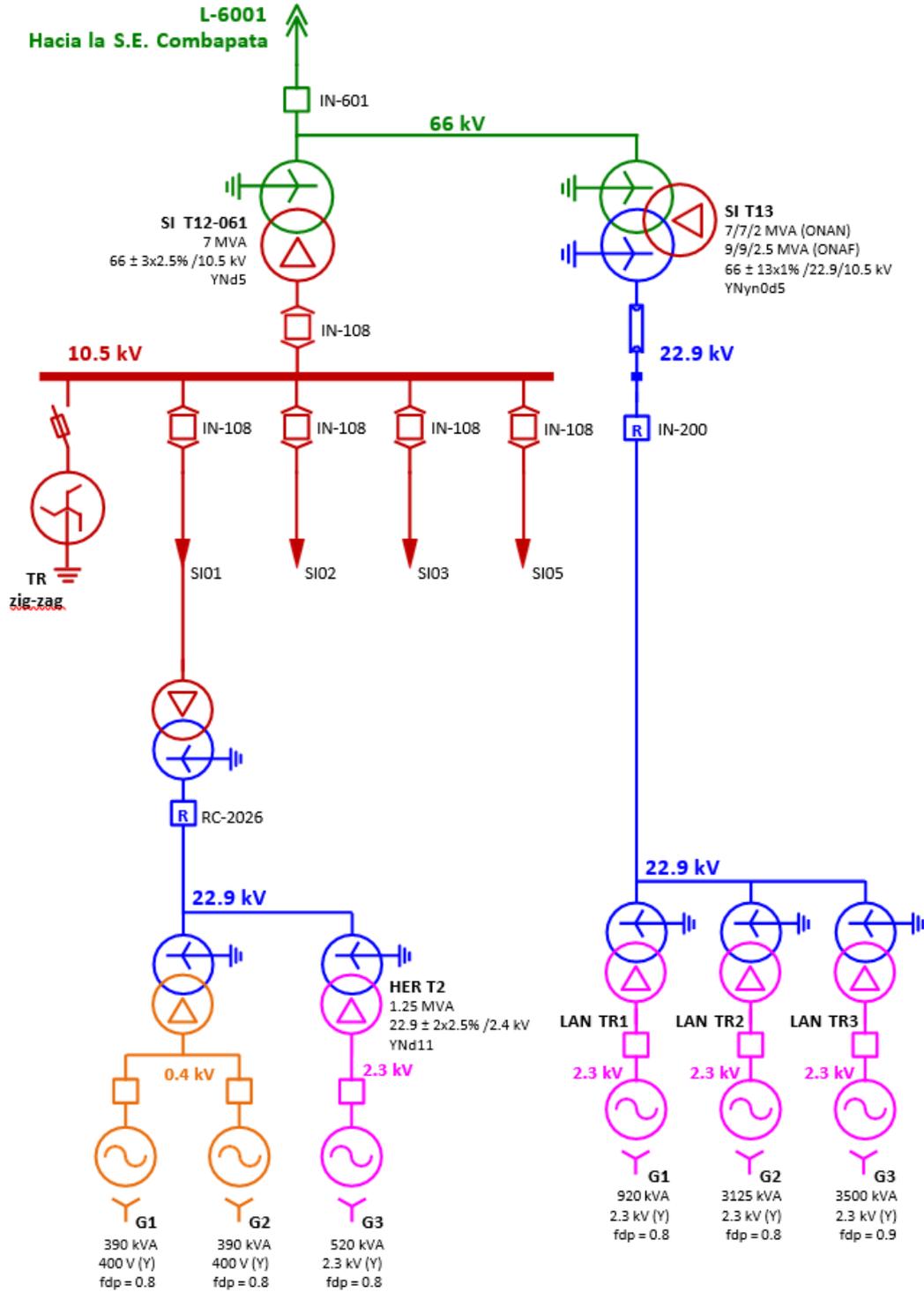
La subestación de transformación (AT/MT) de Sicuani está conformada por intermedio de dos transformadores de potencia SI T12-061 de 7 MVA de 66/10.5 kV y el T13 de 7/7/2 MVA de 66/22.9/10.5 kV. Ambos transformadores se conectan por un único interruptor al SEIN a través de la línea L-6001 desde la Sistema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

En el transformador T12 están conectadas las cargas en el nivel de 10.5 kV, los alimentadores SI01, SI02, SI03 y SI05. La mini C.H. Hercca se encuentra interconectada como generación distribuida (GD) a la barra 10.5 kV de la SET Sicuani a través del alimentador de media tensión SI-01.

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 las pequeñas C.H. Hercca y Langui



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos brindados por ELSE

A. Mini central hidroeléctrica Hercca

En la provincia de Canchis, distrito de Langui, se ubica la mini central hidroeléctrica interconectada al alimentador de media tensión (AMT) SI01, con 22.9 kV de nivel de tensión. El alimentador de media tensión SI-01 presenta una característica distintiva debido a su extenso alcance, ya que incorpora un transformador elevador de tensión con una relación de 10.5/22.9 kV, tal como se ilustra en la figura 4.4. Este sistema está compuesto por dos segmentos principales: el primero se extiende desde la Subestación de Transformación (SET) Sicuani hacia la Subestación Puente Arturo, operando a un nivel de tensión de 10.5 kV. El segundo segmento conecta la Subestación Puente Arturo con un transformador elevador de 22.9/10.5 kV, que permite ajustar los niveles de tensión para garantizar la continuidad y calidad del suministro. Cabe destacar que esta última central se encuentra a una distancia aproximada de 16 kilómetros de la Subestación Sicuani.

Está conformado por 03 generadores cuya potencia instalada es 1.3 MVA, dos grupos de generación idénticos (G1 y G2) 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 22.9/0.23 kV en la subestación de Hercca. En la tabla 4.2 se observan las características técnicas de las generadoras C.H. Hercca.

Tabla 4-2

Especificaciones técnicas de los generadores de la C.H Hercca

Grupo	Marca	Potencia [kVA]	Factor de potencia	Tensión de fase [kV]	Grupo Conexión	Resistencia Tierra [Ω]
G1	AVK Deutschland	390	0.8	0.4	YN	0
G2	AVK Deutschland	390	0.8	0.4	YN	0
G3	AEG	520	0.8	0.23	YN	0
TOTAL		1300				

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ELSE

B. C.H. Langui

Esta mini central hidroeléctrica se encuentra ubicada en el distrito de Langui, provincia de Canas. Se conecta a la S.E. Sicuani a través de una línea desde la central de Langui con 22.9 kV, no obstante, tiempo antes del año 2016, la C.H Langui estaba conectada con el alimentador de media tensión SI05 con 10.5 kV de nivel de tensión el transformador elevador de tensión Puerto Arturo. Actualmente con el fin de garantizar la continuidad del servicio se realizó trabajos correctivos, implementando una nueva línea de media tensión exclusiva de 22.9 kV hasta el transformador T13 de la S.E. Sicuani.

Es importante mencionar que la mini central hidroeléctrica está compuesta por tres grupos de generación, que generan un total de 7.545 MVA, además cada grupo está compuesto un transformador elevador con 0.23/22.9 KV conectando a la línea 22.9 kV. Dicha línea se extiende 19 km desde la C.H. Langui, con dirección a S.E Puente Arturo y finalizando en la S.E Sicuani, de propiedad de la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. A continuación, en la Tabla 4.3. está la información de los grupos de generación con sus respectivas especificaciones técnicas.

Tabla 4-3

Especificaciones técnicas de los generadores de C.H. Langui

Grupo	Marca	Potencia [kVA]	Factor de potencia	Tensión de fase [kV]	Grupo Conexión	Resistencia Tierra [Ω]
G1	L-G01	920	0.8	0.23	Y	0
G2	L-G02	3125	0.8	0.23	Y	0
G3	L-G03	3500	0.9	0.23	Y	0
TOTAL		7545				

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos ELSE

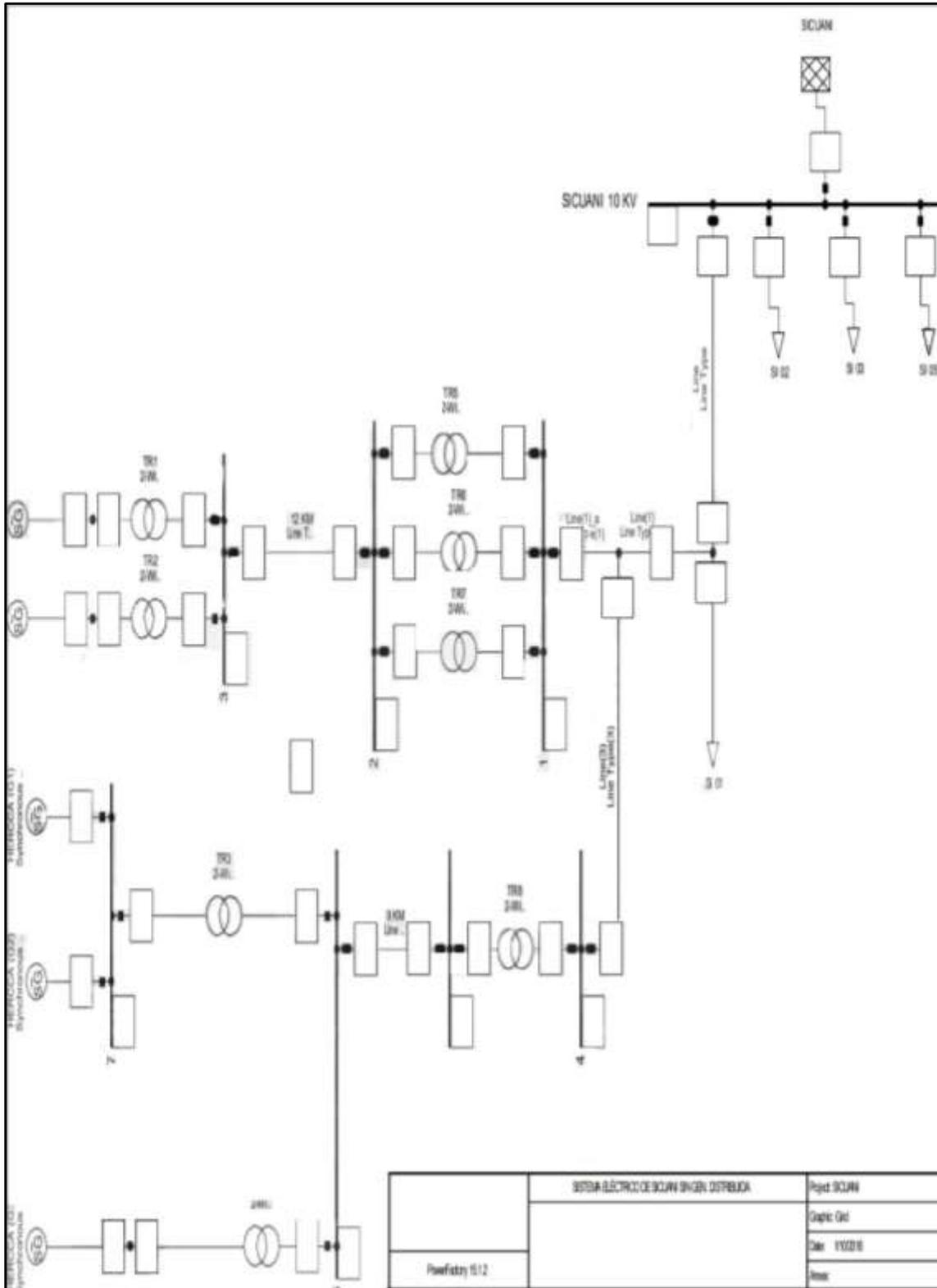
4.6. *Funcionamiento de la Si-01, Año 2018 con Digsilent Pow. Fact.*

Las condiciones de operación de los alimentadores de media tensión que extienden a lo largo del sistema Eléctrico Sicuani, fue trabajada en el programa DIGSILENT Power Factory 15.1.2, considerando las barras de carga como concentradas y los generadores como fuentes de potencia constantes

En las tablas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, se muestran los resultados de las simulaciones tomando como referencia los alimentadores de media tensión SI-05, SI-03, SI-02 y SI-01

Figura 4-5

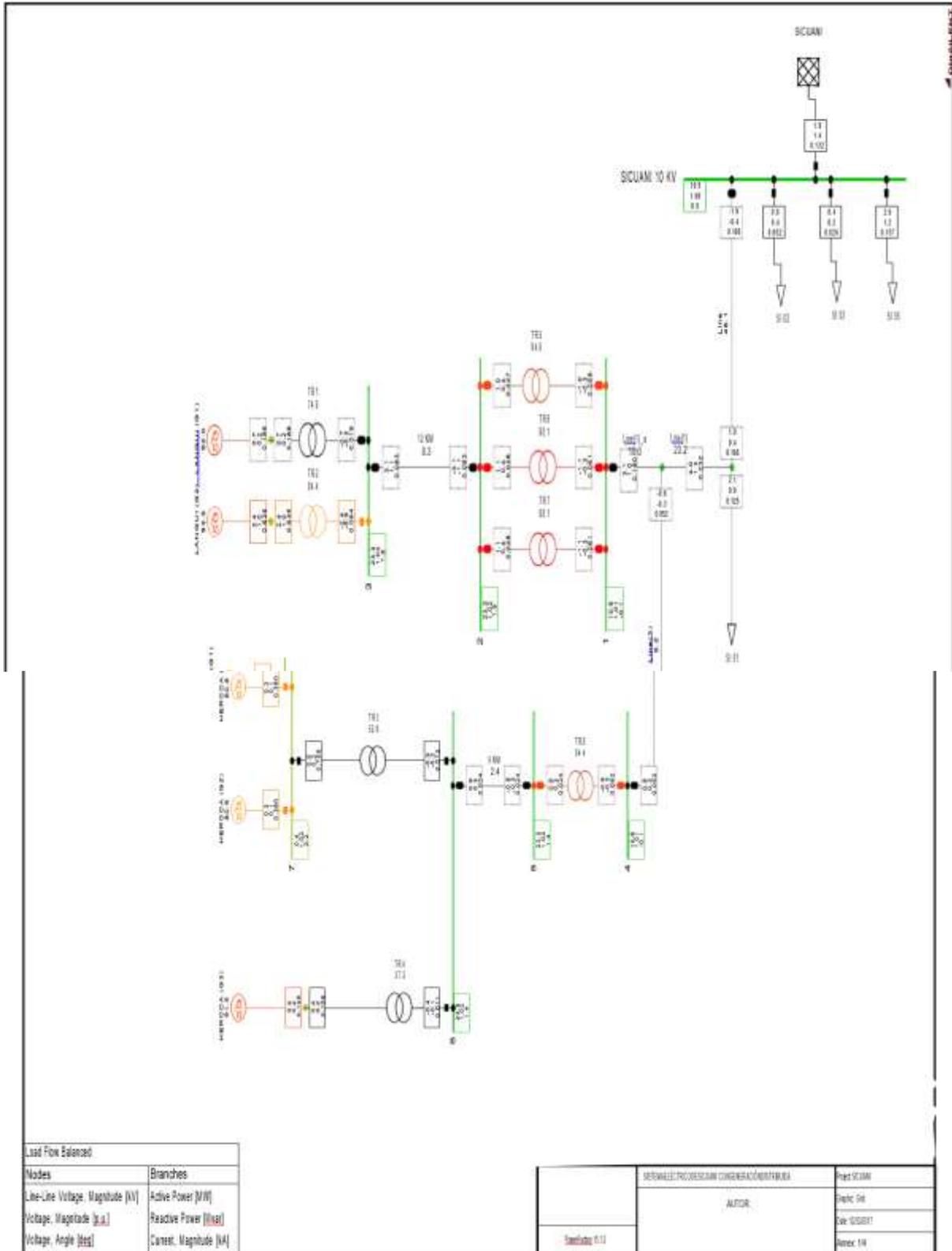
El Diagrama Unifilar en el programa DIGSILENT Pw Fac



Fuente: Elaboración Propia con el DigSilent

Figura 4-6

la S.E. Sicuani SI-01 en el año 2016 con DIGSILENT Pw. Fct.



Fuente: Elaboración Propia con el Digsilent

4.6.1. Escenario de Máxima Demanda con y sin Generación Distribuida al Año

2018

Tabla 4-4

Condiciones de Operación del Alimentador SI-01 con GD(Minicentrales Hidricas)

CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas	P Pérdidas	Q Pérdidas	Q Pérdidas	P Gen	Q Gen
MW	%	MVAR	%	MW	MVAR
0.103	8.576	-0.105	12.915	1.201	0.301
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo		U	AV (%)	
	Nombre		(KV)		
10.00 KV	ESE004EMT001344		10.003	-0.034	
10.00 KV	ESE004EMT040258		10.013	-0.133	
10.00 KV	ESE004EMT001043		9.786	2.136	
10.00 KV	ESE004EMT040674		9.728	2.717	
22.90 KV	ESE004EMT040652		23.296	-1.73	
22.90 KV	ESE004EMT000479		23.219	-1.394	
22.90 KV	ESE004EMT000438		23.193	-1.279	
22.90 KV	ESE004EMT000870		22.266	-0.266	
CARGABILIDAD					
Línea	Cargab.	P	Factor de		
Nombre	%	Perdidas	Potencia		
		kW	cos φ		
ESE004EMT00085-(10KV)	10.945	0.11	0.898		
ESE004EMT01639-(10KV)	18.211	0.212	0.921		
ESE004EMT01368-(10KV)	8.013	0.138	0.923		
ESE004EMT00730-(10KV)	4.716	0.058	0.929		
ESE004EMT00702-(22.9KV)	4.98	0.021	0.838		
ESE004EMT01767-(22.9KV)	4.095	0.025	0.825		
ESE004EMT00251-(22.9KV)	2.633	0.019	0.684		
ESE004EMT00832-(22.9KV)	2.191	0.021	0.74		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.005	0.007		0.008		

Fuente: Elaboración personal

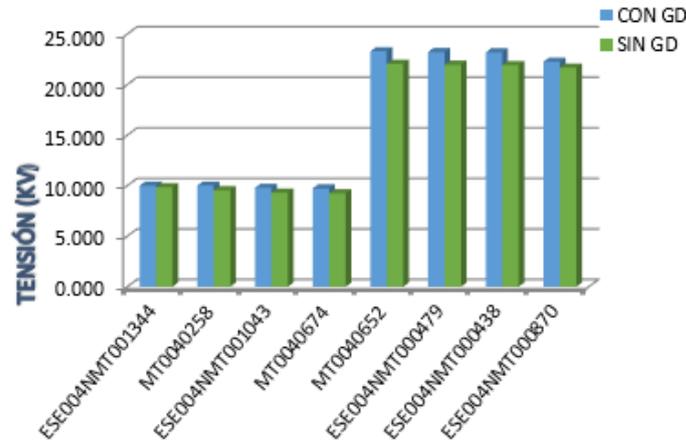
Tabla 4-5*Condiciones de Operación del Alimentador SI-01 sin GD*

SIN GENERACION DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas MW	P Pérdidas %	Q Pérdidas MVAR	Q Pérdidas %	P Gen MW	Q Gen MVAR
0.126	10.491	-0.071	8.864	1.201	0.329
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo Nombre			U (KV)	AV (%)
10.00 KV	ESE004EMT001344			9.838	1.622
10.00 KV	ESE004EMT040258			9.546	4.544
10.00 KV	ESE004EMT001043			9.308	6.917
10.00 KV	ESE004EMT040674			9.247	7.532
22.90 KV	ESE004EMT040652			22.052	3.702
22.90 KV	ESE004EMT000479			21.962	4.079
22.90 KV	ESE004EMT000438			21.931	4.233
22.90 KV	ESE004EMT000870			21.678	5.337
CARGABILIDAD					
Línea Nombre	Cargab. %	P Perdidas kW	Factor de Potencia cos ϕ		
ESE004EMT00085-(10KV)	25.774	0.748	0.972		
ESE004EMT01639-(10KV)	18.446	0.208	0.981		
ESE004EMT01368-(10KV)	8.375	0.151	0.924		
ESE004EMT00730-(10KV)	4.938	0.063	0.93		
ESE004EMT00702-(22.9KV)	5.099	0.022	0.874		
ESE004EMT01767-(22.9KV)	4.21	0.027	0.859		
ESE004EMT00251-(22.9KV)	2.71	0.019	0.709		
ESE004EMT00832-(22.9KV)	2.284	0.023	0.755		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.079	0.071		0.066		

Fuente: Elaboración personal

Figura 4-7

Perfiles de Tensión del Alimentador SI-01

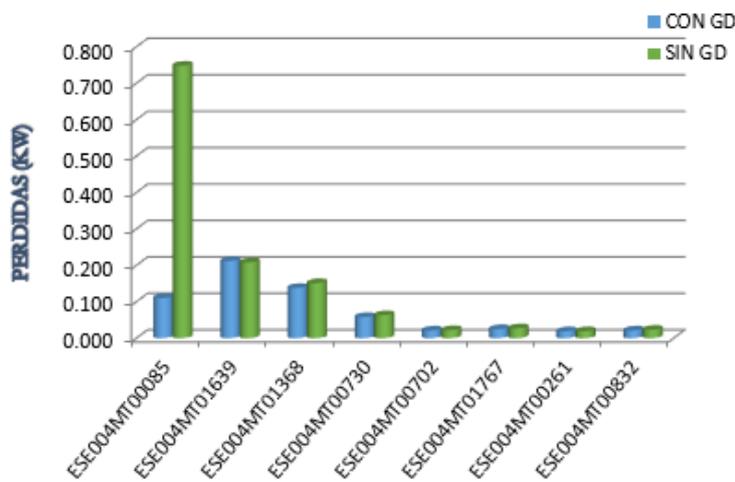


Elaboración: personal

Los nodos tomados en cuenta en la figura 4.7, para los perfiles de tensión del AMT SI-01 se han considerado 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 (Mini centrales Hidráulica) disminuye notoriamente la tensión mientras con GD (Mini centrales Hidráulica) aumenta la tensión.

Figura 4-8

Pérdidas de Potencia del Alimentador SI-01

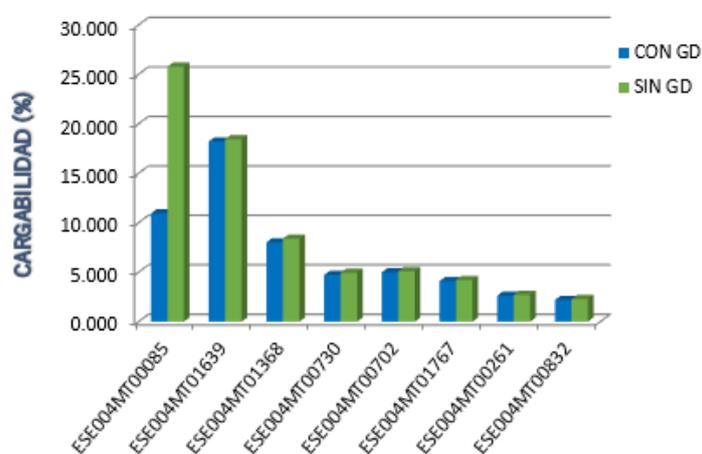


Elaboración: personal

A la analizar la figura 4.8, del alimentador de media tensión SI-01, las pérdidas de potencia son relativamente menores con GD, mientras sin GD se incrementan las pérdidas a lo largo de la extensión de la línea MT, esto resulta porque el flujo de potencia hacia la carga disminuye a la generación distribuida el flujo de la potencia hacia la carga disminuye.

Figura 4-9

Cargabilidad de SI-01

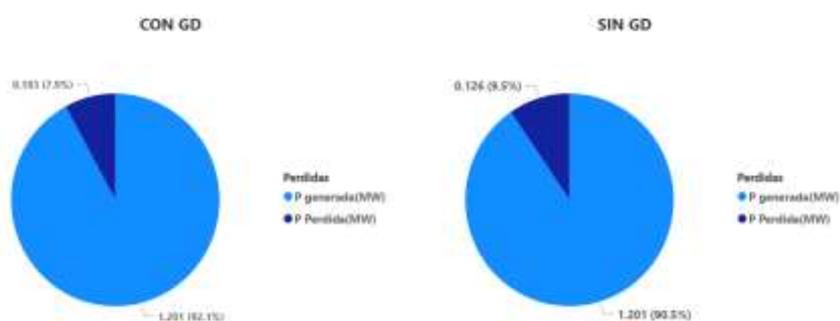


Elaboración: personal

Como se muestra en figura 4.9, el porcentaje de caragabilidad en la línea del AMT SI-01 es mucho menor con GD y sin GD el porcentaje incrementa. Esto se debe a la incorporación de nuevas fuentes de energía como generación distribuida.

Figura 4-10

Pérdidas y Máxima Demanda del SI-01 sin / con GD



Elaboración: personal

De acuerdo a figura 4.10, comparando valores de las pérdidas de potencia en ambos escenarios, con GD(Mini centrales Hidráulica) las perdidas representan el 7.9 % y sin GD(Mini centrales Hidráulica) las pérdidas de potencia son relativamente mayores con un 9.5 % de la demanda total del alimentador de media tensión SI-01.

Tabla 4-6

Condiciones de Operación del alimentador de media tensión SI-02 con GD(Mini centrales Hidraulica)

CON GENERACION DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas MW	P Pérdidas %	Q Pérdidas MVAR	Q Pérdidas %	P Gen MW	Q Gen MVAR
0.026	3.462	0.035	14.17	0.751	0.247
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo Nombre	U (KV)	AV (%)		
10.00 KV	ESE004EMT004006	9.962	0.384		
10.00 KV	ESE004EMT001453	9.914	0.862		
10.00 KV	ESE004EMT001465	9.899	0.862		
10.00 KV	ESE004EMT001472	9.878	1.217		
10.00 KV	ESE004EMT001473	9.874	1.255		
10.00 KV	ESE004EMT001478	9.867	1.332		
CARGABILIDAD					
Línea Nombre	Cargab. %	P Perdidas kW	Factor de Potencia cos φ		
ESE004EMT01202	19.423	0.83	0.949		
ESE004EMT00198	17.234	0.234	0.95		
ESE004EMT00065	21.834	0.047	0.95		
ESE004EMT00565	7.766	0.039	0.949		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA	I (LT) kA			
0.046	0.046	0.046			

Elaboración: personal

Tabla 4-7

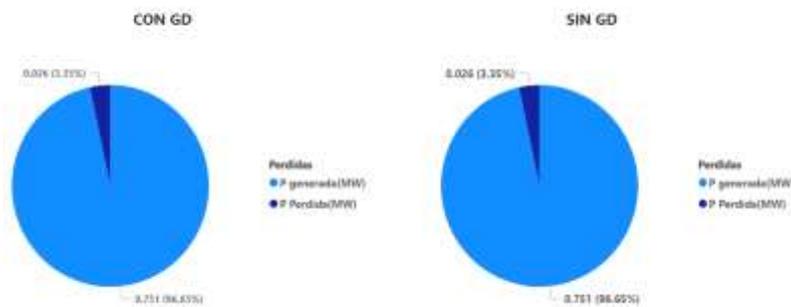
Condiciones de Operación del alimentador de media tensión SI-02 sin GD(Mini centrales Hidraulica)

SIN GENERACION DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas MW	P Pérdidas %	Q Pérdidas MVAR	Q Pérdidas %	P Gen MW	Q Gen MVAR
0.026	3.462	0.035	14.17	0.751	0.247
TENSION					
Tensión Nominal	Nodo Nombre		U (KV)	AV (%)	
10.00 KV	ESE004EMT004005		9.962	0.384	
10.00 KV	ESE004EMT001453		9.914	0.862	
10.00 KV	ESE004EMT001465		9.899	0.862	
10.00 KV	ESE004EMT001472		9.878	1.217	
10.00 KV	ESE004EMT001473		9.874	1.255	
10.00 KV	ESE004EMT001478		9.867	1.332	
CARGABILIDAD					
Línea Nombre	Cargab. %	P Pérdidas kW	Factor de Potencia cos ϕ		
ESE004EMT01202	19.423	0.83	0.949		
ESE004EMT00198	17.234	0.234	0.95		
ESE004EMT00065	21.834	0.047	0.95		
ESE004EMT00565	7.766	0.039	0.949		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.046	0.046		0.046		

Elaboración: personal

Figura 4-11

Pérdidas y Máxima demanda del AMT SI-02



Elaboración: personal

De acuerdo a figura 4.11, comparando valores de las pérdidas de potencia en ambos escenarios, con GD las perdidas representan el 3.35 % y sin GD las pérdidas de potencia son relativamente mayores con un 3.35 % de la demanda total del alimentador de media tensión SI-02.

Tabla 4-8

Condiciones de Operación del AMT SI-03 con GD(Mini centrales Hidraulica)

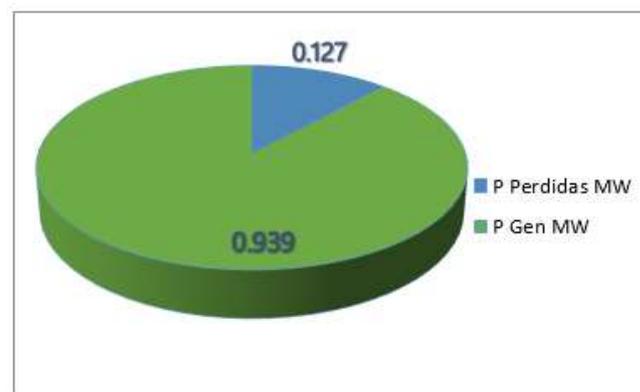
CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas MW	P Pérdidas %	Q Pérdidas MVAR	Q Pérdidas %	P Gen MW	Q Gen MVAR
0.127	13.525	0.152	54.676	0.939	0.278
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo Nombre		U (KV)	AV (%)	
10.00 KV	ESE004NMT006917		9.881	1.19	
10.00 KV	ESE004NMT006950		9.752	2.476	
10.00 KV	MT0040047		9.658	3.421	
10.00 KV	ESE004NMT001700		9.569	4.308	
10.00 KV	ESE004NMT001675		9.46	5.366	
10.00 KV	ESE004NMT007936		9.319	6.81	
CARGABILIDAD					
Línea Nombre	Cargab. %	P Perdidas kW	Factor de Potencia cos ϕ		
ESE004MT01389	36.696	1.568	0.96		
ESE004MT00726	20.894	0.058	0.965		
ESE004MT00271	20.081	0.251	0.935		
ESE004MT01374	0.864	0.007	0.872		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.079	0.046		0.045		

Elaboración: personal

Tabla 4-9*Condiciones de Operación del AMT SI-03 con generacion distribuida*

SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas	P Pérdidas	Q Pérdidas	Q Pérdidas	P Gen	Q Gen
MW	%	MVAR	%	MW	MVAR
0.127	13.525	0.152	54.676	0.939	0.278
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo			U (KV)	AV (%)
	Nombre				
10.00 KV	ESE004NMT006917			9.881	1.19
10.00 KV	ESE004NMT006950			9.752	2.476
10.00 KV	MT0040047			9.658	3.421
10.00 KV	ESE004NMT001700			9.569	4.308
10.00 KV	ESE004NMT001675			9.46	5.366
10.00 KV	ESE004NMT007936			9.319	6.81
CARGABILIDAD					
Línea	Cargab.	P Perdidas	Factor de		
Nombre	%	kW	Potencia		
cos ϕ					
ESE004MT01389	36.696	1.568	0.96		
ESE004MT00726	20.894	0.058	0.965		
ESE004MT00271	20.081	0.251	0.935		
ESE004MT01374	0.864	0.007	0.872		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.079	0.046		0.045		

Elaboración: personal

Figura 4-12*Pérdidas y Máx. Demanda de SI-03*

Elaboración: personal

De acuerdo a fig. 4.12, SI-03 mantiene los mismos valores ya sea con o sin GD. Demostrado en que la tensión nominal se mantiene en 10.5 KV, mientras que la demanda máxima se sitúa en 0.939 MW y finalmente las pérdidas de potencia están 0.127 MW, lo que equivale al 13.525% a la demanda total del SI-05.

Tabla 4-10

Condiciones de Operación de SI-05 con generación distribuida

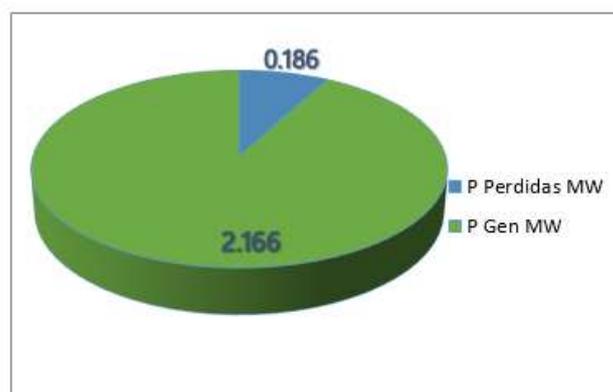
CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas	P Pérdidas	Q Pérdidas	Q Pérdidas	P Gen	Q Gen
MW	%	MVAR	%	MW	MVAR
0.186	8.587	0.203	20.588	2.166	986
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo			U (KV)	AV (%)
	Nombre				
10.00 KV	ESE004NMT007022			9.885	1.152
10.00 KV	ESE004NMT007030			9.792	2.083
10.00 kV	ESE004NTM007075			9.578	4.224
10.00 KV	MT0040012			9.451	5.493
10.00 KV	ESE004NMT001798			9.389	9.389
10.00 KV	ESE004NMT001901			9.366	9.366
CARGABILIDAD					
Línea	Cargab.	P Perdidas	Factor de Potencia		
Nombre	%	kW	cos ϕ		
ESE004MT01490	59.481	3.15	0.911		
ESE004MT02115	65.079	3.449	0.912		
ESE004MT00269	18.614	0.367	0.915		
ESE004MT00125	6.152	0.03	0.918		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.14	0.14		0.132		

Elaboración: personal

Tabla 4-11*Condiciones de Operación de SI-05 sin generación distribuida*

SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA					
PERDIDAS					
P Pérdidas MW	P Pérdidas %	Q Pérdidas MVAR	Q Pérdidas %	P Gen MW	Q Gen MVAR
0.186	8.587	0.203	20.588	2.166	986
TENSIÓN					
Tensión Nominal	Nodo Nombre		U (KV)	AV (%)	
10.00 KV	ESE004NMT007022		9.885	1.152	
10.00 KV	ESE004NMT007030		9.792	2.083	
10.00 kV	ESE004NTM007075		9.578	4.224	
10.00 KV	MT0040012		9.451	5.493	
10.00 KV	ESE004NMT001798		9.389	9.389	
10.00 KV	ESE004NMT001901		9.366	9.366	
CARGABILIDAD					
Línea Nombre	Cargab. %	P Perdidas kW	Factor de Potencia cos ϕ		
ESE004MT01490	59.481	3.15	0.911		
ESE004MT02115	65.079	3.449	0.912		
ESE004MT00269	18.614	0.367	0.915		
ESE004MT00125	6.152	0.03	0.918		
CORRIENTE POR FASE					
I (LR) kA	I (LS) kA		I (LT) kA		
0.14	0.14		0.132		

Elaboración: personal

Figura 4-13*Pérdidas y Máx. Demanda - SI-05*

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a fig. 4.13, SI-05 mantiene los mismos valores, pues tanto con o sin GD (Mini centrales Hidráulica), la tensión nominal de la operación se mantiene en 10 K, mientras que la demanda máxima se sitúa en 2.166 kilovatios mientras que con pérdidas se sitúan en torno a 0.186 megavatios, representado un 8.587% de la demanda total de SI-05.

4.7. Efectos de la Implementación de la Gd en el Sistema Eléctrico Sicuani

4.7.1. Efectos de la GD en un Horizonte de Operación al Año 2018

En este tramo de la investigación sobre el sistema Sicuani se observa que, debido al incremento sostenido de la demanda, la Generación Distribuida (GD), representada por las minicentrales hidráulicas actualmente instaladas en las redes, ya no es suficiente para garantizar una optimización efectiva del sistema cuando operan de manera independiente.

Tabla 4-12

Perdidas de potencia por alimentador del sistema Sicuani 2018

AMT	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA				SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA							
	P(MW) Perdidas	P (%) Perdidas	Q(Mvar) Perdidas	Q (%) Perdidas	P(MW) Gen	Q(Mvar) Gen	P(MW) Perdidas	P (%) Perdidas	Q(Mvar) Perdidas	Q (%) Perdidas	P(MW) Gen	Q(Mvar) Gen
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	14.17	0.751	0.247	0.026	3.462	0.035	14.17	0.751	0.247
SI-03	0.127	13.525	0.152	54.676	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	8.74	-0.495	21.456	5.057	1.812	0.465	9.195	-0.461	20.035	5.057	1.84

Elaboración: personal

De acuerdo a la tabla 4.12, se muestra que los alimentadores de Sicuani que con o sin GD, el total de la demanda máxima se sitúa en 5.057 MW, a pesar que las pequeñas centrales de Langui y Hercca no abastecen la máxima demanda.

Tabla 4-13*Tensiones críticas por alimentador del sistema Canchis 2018*

AMT	U. (KV) Nominal	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA			SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
		Dirección Eléctrica	V (KV)	V (%)	Dirección Eléctrica	V (KV)	V (%)
SI-01	10	ESE004NMT000674	9.728	2.717	ESE004NMT000674	9.247	7.532
SI-01	22.9	ESE004NMT000870	22.27	-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	6.81	ESE004NMT007936	9.319	6.81
SI-05	10	ESE004NMT001901	9.366	6.341	ESE004NMT001901	9.366	6.341

Elaboración: personal

De acuerdo a Tab. 4.13, en comparación al CNE y Suministro, los parámetros de las tensiones críticas y mínimas por nodo en zonas urbanas no pueden superar $\pm 3.5\%$ de su tensión nominal, mientras que la zona rural está prohibida una cifra por encima del valor nominal fijado en $\pm 6\%$. En esa situación los alimentadores en estado crítico están conformados por SI-03 que tiene la tensión en torno a 9.319 kilovatios que equivale al 6.810 por ciento. Entonces si SI-05, que posee la tensión en torno a 9.247 kilovatios sin GD alcanzando el 7.532%, y finalmente el SI-05 con la tensión que llega a 9.366 KV y con o sin GD equivale a 6.341%. Todos estos valores superan por creces los parámetros establecidos para zonas rurales y urbanas de acuerdo a la norma NTCSE y CNES. Lo cual tiene su origen en la gran distancia que separa a los alimentadores lo que hace que las largas extensiones de redes impacten en la pérdida de energía.

Tabla 4-14*Cargabilidad máxima por alimentador del sistema Canchis 2018*

AMT	U. (KV) Nominal	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA				SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA			
		Dirección Eléctrica	Cargab. %	P Perd. Kw	Fd P (cos ϕ)	Dirección Eléctrica	Cargab. %	P Perd. Kw	Fd P (cos ϕ)
SI-01	10	ESE004NMT01639	18.211	0.212	0.921	ESE004NMT01639	25.774	0.748	0.972
SI-01	22.9	ESE004NMT00702	4.98	0.021	0.838	ESE004NMT00702	5.099	0.22	0.874
SI-02	10	ESE004NMT00065	21.834	0.047	0.95	ESE004NMT00065	21.834	0.47	0.95
SI-03	10	ESE004NMT01389	36.696	1.568	0.96	ESE004NMT01389	36.696	1.568	0.96
SI-05	10	ESE004NMT02115	65.079	3.449	0.912	ESE004NMT02115	65.079	3.449	0.912

Elaboración: personal

De acuerdo a Tab. 4.14, están los alimentadores con mayores pérdidas activas y cargabilidad en comparación los demás alimentadores de Sicuani. En el nivel de 10.5 KV de tensión nominal, con el valor más alto, está el alimentador SI-05 cuyos números marcan 3.449 KV que equivale al 65.079%.

Para el sistema Sicuani es notorio el incremento de la cargabilidad cuando se observa el inicio de la troncal de los transformadores y alimentadores, lo que repercute en la calidad de la red cuando se amplía la carga que, a su vez, hace imposible abastecer con un óptimo suministro a ambos extremos de dichos alimentadores.

Tabla 4-15

Flujo de corrientes por alimentador del sistema Sicuani 2018

AMT	T. Nominal (KV)	CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA			SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA		
		Corriente por fase			Corriente por fase		
		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	0.14	0.14	0.132	0.14	0.14	0.132

Elaboración: personal

De acuerdo a la Tabla 4.15, SI-02 posee el estado balanceado del flujo de energía, sobre todo, la fase RST ubicados por las inmediaciones de zona rural - urbana. En comparación a los otros alimentadores que poseen fases con flujos desbalanceados lo que ocasiona el aumento de pérdidas de potencia en el suministro de energía eléctrica.

4.8. Opciones de Solución para los Horizontes de Operación al Año 2018

Al sopesar la demanda aumentada que atañe a S.E. Canchis, de acuerdo al Tabla 4.4, con proyecciones a los servicios del año 2018. Se propone como procedimiento valido, primero repotenciar la Mediana y Pequeña Central Hidroeléctrica de Langui y Hercca, y el cambio de

Subestación de transformación Puente Arturo IV y la incorporación de las líneas eléctricas de interconexión.

Repotenciación de C.H. Hercca II

Esta propuesta consiste en repotenciar C.H de Hercca para lo cual se requiere de la construcción de obras civiles, además del abastecimiento y acoplamiento del equipo electromagnético de control, transformación y generación para la pequeña C.H con una potencia de 4.440 MW, asimismo es necesario dos redes de trasmisión para enlazarlo al sistema eléctrico, que consiste en la línea con nivel de 22.9 kV para conectar la C.H. Hercca en dirección a S.E. Puente Arturo respectivamente.

Especificaciones del nuevo grupo generador

Altura del montaje	3661.6 m
Caída mínima de operación	93.0 m
Caída máxima bruta	96.46 m
Caída máxima neta	94.20 m
Grupos de generación	1
Caudal	4 m ³ /s
Turbina	Francis (eje horizontal)
Velocidad	720 RPM
Potencia generada	3.42 MW
Capacidad de generación	4.20 MVA

Repotenciación de C.H. Langui II

Respecto a C.H. Langui 2 S.A, propiedad particular, requiere la construcción de obras de conducción e incremento de la captación de agua, además del abastecimiento de un equipo nuevo de generación y enlace con la red la empresa Electro Sur-Este.

En el caso de las obras de conducción y captación, implica el incremento de la toma de fondo sobre el río Hercca que se sitúa a 3927.27 m.s.n.m. y llega hasta el diseño de caudal con 6.30 m³/s. asimismo está el incremento de tonelaje del ducto de atracción con el fin de transportar corrientes recogidas hacia la cámara. En esa lógica se cambiarán los dos desarenadores, con el fin de optimizar la actividad hidráulica, además se incrementará la cámara de carga, el ducto reforzado que conduce a la unidad 1, será desmantelado pues se encuentra colapsada, pues también alimentará a la unidad 3 y el incremento de espacio de la casa de máquinas para integra dicha unidad.

Para el equipo de regeneración, es necesario la unidad marca Francis, de 2.932 MW de potencia, elevador transformador, casa de máquinas y equipos auxiliares. El S.E Puerto Arturo 4, situado entre sub estación y central, se instalará una red de transmisión de tensión nivel 22.9 kV y 11.5 km de longitud, adecuando la sub estación a dicho nivel de tensión, con un output de 66 KV que será conectado con las redes de Sicuani y Combapata.

Ampliación de S.E. 22.9/66 kV Puente Arturo IV

Dicha infraestructura se ubicará en el área aledaña a la sub estación preexistente. Siendo necesario separar la línea proveniente de la C.H Langui por medio de un transformador de 22.9/10.5 KV de potencia que conecte con SI-05. Secundado por la edificación de una sala de control y patio de llaves modernos.

Respecto a la S.E. Puente Arturo 4 poseerá con un transformador tipo trifásico de potencia de 22,9/66 kilovatios de 10 MW, con equipamiento. Su equipo eléctrico contará con una potencia de llegada de 22,9 KV y output a 66 kilovatios, acoplado a celdas, así como enlazado en red transmisión preexistente de Sicuani y Combapata.

Líneas Eléctricas de Interconexión

El sistema estará formada por la interconexión de la C.H. Herca II y C-H- Langui II hasta la Sub estación Puente Artur, para luego conectarse al Sistema Eléctrico Interconectado

Nacional. Por la que se implementara la red de transmision C.H. Hercca II y Langui cuya distancia aproximada sera de 16.59 km, comprendida en dos tramos.

TRAMO 1: desde la red de transmisión C.H Langui a 22.9 kilovatios y C.H. Hercca en dirección a S.E. Puerto Arturo 4 con una distancia de 9 a 12 km aprox. Con el conductor de 120 a 150 mm² tipo AAAC, además de la actualización de la red existente de transmisión con modernos conductores y postes de concreto.

TRAMO 2: Implantación de la Línea de Transmisión 66 kV Puente Arturo IV – punto de Interconexión con la estructura Nro 90 de la línea de transmisión existente entre SET Combapata y SE Sicuani, esta consiste de torres metálicas, con una longitud aproximada de 7.95 km clase de conductor de AAAC 120mm².

Tabla 4-16

Proyectando la repotenciación de C.H. Langui y Hercca fecha 2018 aplicando GD

CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA							
PERDIDAS							
P (MW) Perdidas	P (%) Perdidas	Q (MVAR) Perdidas	Q (%) Perdidas	P (MW) Gener.	Q (MVAR) Gener.	P (MW) Carga	Q (MVAR) Carga
0.02	0.177	-0.178	36.475	11.281	0.066	11.261	0.244

Elaboración: personal

Tabla 4-17

Proyectando C.H. de Langui y Hercca fecha 2018 no aplicando GD (SEIN)

SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA							
PERDIDAS							
P (MW) Perdidas	P (%) Perdidas	Q (MVAR) Perdidas	Q (%) Perdidas	P (MW) Gener.	Q (MVAR) Gener.	P (MW) Carga	Q (MVAR) Carga
0.124	1.089	1.031	40.447	11.385	1.274	11.261	0.244

Elaboración: personal

De acuerdo a las Tabla 4.16 y 4.17, en cuanto a las proyecciones del periodo 2018 el incremento de la demanda no abastece las C.H. de Langui y Hercca por lo que es necesario

repotenciar ambas centrales para completar la máxima demanda de los alimentadores de Combapata y Sicuani. Con ello se pretende abastecer el total de la demanda con la implementación de la GD, aunque con el SEIN pasa lo opuesto ya que la S.E. Combapata ya colapso con la proyección de la demanda en el periodo planteado, pero es importante mencionar que con la GD se reduce drásticamente las pérdidas del sistema eléctrico de Sicuani.

CAPÍTULO V

5. Propuesta de Guía para Líneas Inteligentes con el Fin de Optimizar la Calidad de Abastecimiento Eléctrico en el Sistema de Distribución

5.1. Introducción

En el presente acápite se desarrolla una propuesta de guía técnica para la implementación de líneas de distribución inteligente, orientadas al monitoreo automatizado del sistema eléctrico. Esta propuesta tiene como ámbito de aplicación todos los alimentadores del sistema Sicuani, con énfasis en el alimentador SI-01, el cual cuenta con una generación distribuida (GD) diseñada para mitigar fallas externas, permitiendo la supervisión mediante indicadores de confiabilidad como SAIDI y SAIFI.

El objetivo principal es optimizar la operación del sistema, asegurando un suministro eléctrico de calidad, seguro y eficiente. Esta guía está proyectada con una visión de largo plazo, dado que su implementación favorecerá significativamente al crecimiento del sector comercial e industrial, cuyos usuarios presentan altos niveles de exigencia en términos de continuidad y calidad del servicio eléctrico.

5.2. Calidad De Suministro

En relación a la presente tesis se considera En el marco de la presente tesis, se toma como referencia el marco normativo nacional, específicamente la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), la cual regula los aspectos relacionados con la calidad de la energía eléctrica suministrada por las empresas concesionarias.

Esta norma establece cuatro dimensiones fundamentales de evaluación: calidad del alumbrado público, calidad comercial, calidad del suministro y calidad del producto eléctrico. El presente estudio pone especial énfasis en la calidad del suministro, la cual está directamente relacionada con la continuidad del servicio eléctrico. Esta se mide a través de indicadores como

el número y duración de las interrupciones del servicio, parámetros que inciden directamente en la percepción del usuario y en el cumplimiento de los estándares mínimos exigidos por el ente regulador.

La evaluación de esta dimensión resulta clave para el análisis de confiabilidad del sistema, ya que permite identificar debilidades operativas, establecer criterios de mejora y garantizar un suministro eléctrico eficiente, seguro y continuo, especialmente en zonas con alta demanda industrial y comercial. el canon peruano “Norma Técnica sobre Calidad de Servicios Eléctricos”. Donde se regula la energía eléctrica suministrada y delinea cuatro criterios: calidad en el alumbrado público, comercial, de suministro y de producto. Con énfasis en la “calidad de suministro”, descrita en relación a la numero de interrupciones del servicio que determina la continuidad de la energía eléctrica suministrada.

5.2.1. Indicadores de Calidad de Suministro

Directiva 10-2014-OS/CD (OSINERGMIN, 2014), con parámetros a continuación:

a. Cantidad Total de Interrupciones por Semestre (N)

Este indicador evalúa a partir del total de veces interrumpidas inscritas del abastecimiento por usuario controlado semestralmente.

$$D = \sum_{i=1}^N K_i \cdot d_i$$

Donde:

d_i : Tiempo individual de la interrupción i .

k_i : Factor de ponderación de las interrupciones:

- $K_i = 0.25$ para interrupciones por expansión o reforzamiento
- $K_i = 0.50$ para interrupciones por mantenimiento
- $K_i = 1.00$ otros

N: Cantidad de interrupciones (interrup/semestre).

Esto incluye a la cantidad de interrupciones programadas debido a al reforzamiento o expansión de las redes. Pues este variable también debe contabilizarse en la calculo ponderándose por un factor de 50 por ciento.

b. Tiempo Total de Interrupciones por Cliente (D)

Este indicador hace referencia al sumatorio total de la duración de las interrupciones calculadas para cada usuario del total de veces que se interrumpió el abastecimiento eléctrico por seis meses. El algoritmo es:

Con el término “Interrupciones programadas” hacemos referencia a las tareas de reforzamiento, manteniendo y expansión de las redes. Las que se planifican con antelación ante la autoridad e informadas oportunamente a los clientes. Con un aviso de 48 horas de antelación además de las fechas de inicio – fin de las interrupciones.

c. Tolerancias

Este parámetro evalúa las tolerancias en los indicadores de calidad enlazados en diferentes niveles de tensión:

Cantidad de Interrupciones por usuario N (interrup/semestre)

- Usuarios en alta y muy alta tensión 02
- Usuarios en media tensión 04
- Usuarios en baja tensión 06

Tiempo total ponderada de interrupciones por usuario D (horas/semestre)

- Usuarios en alta y muy alta tensión 04
- Usuarios en media tensión 07
- Usuarios en baja tensión 10

5.3. Evaluación De Interrupciones Del Suministro Eléctrico En Sistema Electrico Sicuani

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 (Hurto 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)

Protocolos de disminución del suministro interrumpido

1. Monitorear continuamente las líneas eléctricas y su operatividad.
2. Poseer data en tiempo real de la línea GIS (ubicar, aislar y restaurar)
3. Planificar el plan estratégico para contingencias no previstas en las operaciones de la red.
4. Hacer el protocolo matriz que resuelva los incidentes durante la operatividad del sistema.

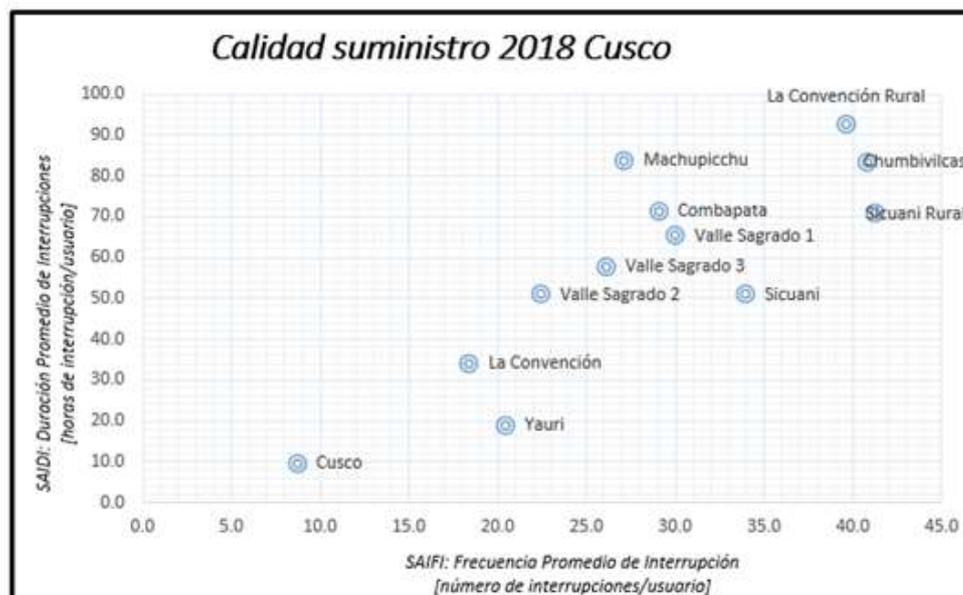
5.4. Resultados de Analisis de contingencia

El análisis de contingencia realizado sobre el Sistema Eléctrico de Sicuani permitió evaluar el comportamiento de la red frente a fallas simples en alimentadores de media tensión

Tabla 5-1*Límite de interrupciones*

Límite de interrupciones		
ST (Sector típico)	SAIFI	SAIDI
2	5	8
3	7	12
4	12	24
5	16	40
6	16	40

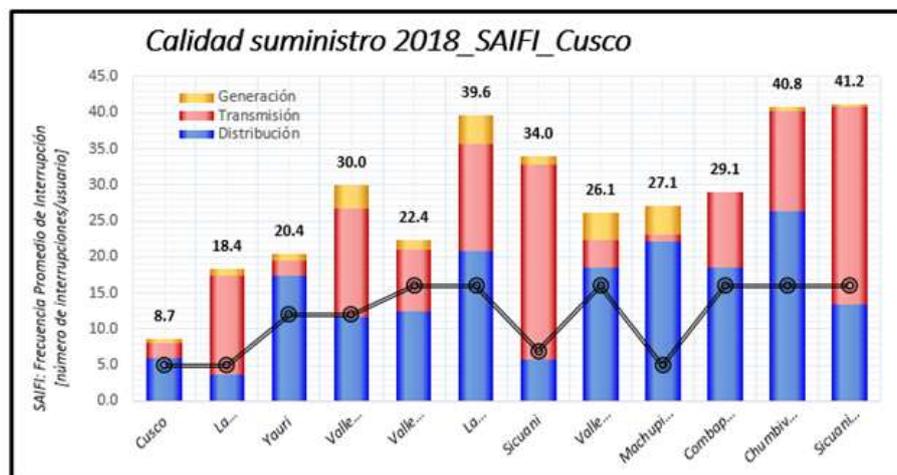
Fuente: Osinergmin - NCTE

Figura 5-1*Calidad de suministro 2018 Cusco*

Fuente: Osinerg

Figura 5-2

Calidad suministro 2018_SAIIFI_Cusco



Fuente: Osinerg

Tabla 5-2

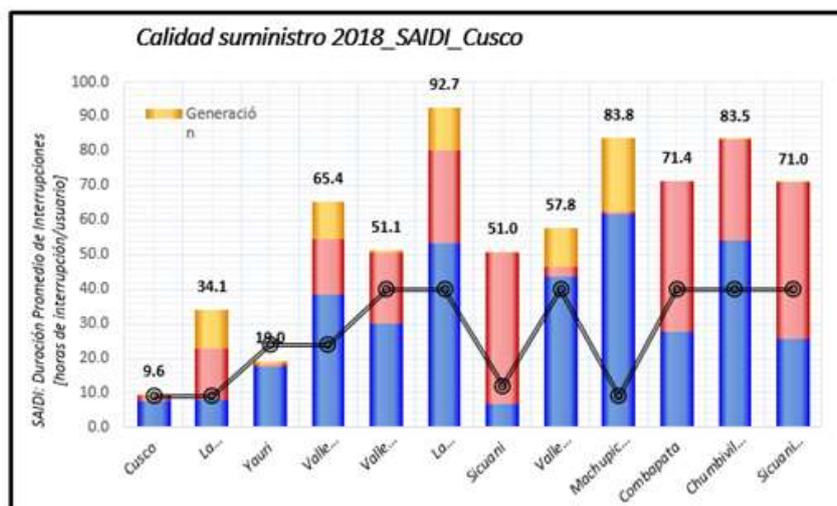
Resumen de SAIFI

Resumen índice SAIFI						
Sistema Eléctrico	Sector Típico		2013	2014	2015	2018
Cusco	SE0032	2	7.73	6.02	5.95	5.06
Iberia	SE0033	5	37.1	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	28.26
Iñapari	SE0039	3	70.19	5.4	8.04	77.23
Valle Sagrado I	SE0040	4	13.95	22.89	15.76	12.27
Valle Sagrado II	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
Vale Sagrado III	SE0245	6	28.15	53.96	32	21.07
Pto Maldonado Rural	SE1034	4	82.22	85.63	85.75	32.61
Machupichu	SE1036	2	6.95	10.36	13.94	17.87
Chacapunte	SE1042	6	40.5	50.95	26.03	21.77
Combapata	SE1242	5	26.2	50.87	28.28	29.11
Mazuko	SE2034	3	42.42	43.9	19.68	27.54
Chuquibambilla	SE2042	6	49.79	83.69	41.13	29.28
Chumbivilcas	SE3242	5	91.8	82.1	70.45	61.1
Sicuani Rural	SE4242	6	28.01	23.85	34.28	8.91
ELSE			24.46	27.34	20.22	16.5

Fuente: Osinerg

Figura 5-3

Calidad suministro 2018_SAIDI_Cusco



Fuente: Osinerg

Tabla 5-3

Resumen de SAIDI

Resumen índice SAIDI						
Sistema Eléctrico	Sector Típico	2013	2014	2015	2018	
Cusco	SE0032	2	13.34	8.48	7.35	7.98
Iberia	SE0033	5	92.25	87.93	47.49	37.14
Pto Maldonado	SE0034	2	24.29	9.73	12.48	17
Abancay	SE0035	2	16.85	36.53	20.79	7.36
La Convención	SE0036	2	24.84	30.43	13.25	6.08
Yauri	SE0038	4	115.43	114.54	117.71	33.97
Iñapari	SE0039	3	104.58	4.13	22.64	47.24
Valle Sagrado I	SE0040	4	28.11	28.93	26.02	22.12
Valle Sagrado II	SE0041	5	37.54	33.97	37.77	45.75
Andahuaylas	SE0042	4	32.67	34.14	19.73	27.04
Abancay Rural	SE0241	6	161.82	63.67	56.83	72.91
La convención Rural	SE0243	5	63.82	60.35	68.2	77.39
Sicuani	SE0244	3	6.48	7.69	39.71	3.12
Vale Sagrado III	SE0245	6	43.81	63.99	56.79	43.28
Pto Maldonado Rural	SE1034	4	123.57	126.9	325.46	75.78
Machupichu	SE1036	2	16.35	59.6	35.56	112.14
Chacapunte	SE1042	6	48.24	71.32	115.8	63.38
Combapata	SE1242	5	33.83	49.39	40.53	33.39
Mazuko	SE2034	3	57.55	48.29	38.17	82.75
Chuquibambilla	SE2042	6	174.23	115.11	99.27	101.24
Chumbivilcas	SE3242	5	297.22	138.17	149.62	70.99
Sicuani Rural	SE4242	6	36.14	40.13	66.81	16.7
ELSE			46.49	39.5	38.27	30.89

Fuente: Osinerg

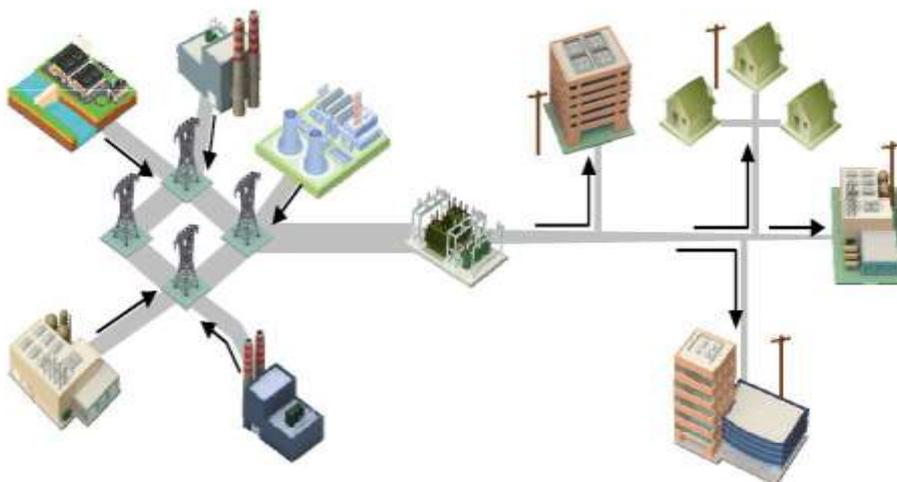
5.5. Características de las Redes Eléctricas Actuales en MT

Sayas 2013:

Caracteriza a las redes actuales como:
1. Redes de distribución radiales en MT.
2. Flujo de potencia unidireccional desde los centros de generación hasta el usuario final.
3. Operan con relés electromecánicos o digitales, con escasa comunicación, cuyos ajustes son realizados manualmente.
4. Recorren longitudes largas hasta 200 km, con alta posibilidad de falla transitoria.
5. Protección en todo el alimentador con Seccionadores fusibles tipo CUT-OUT seleccionados a priori
6. Recierres de circuito frente a fallas, degrada el sistema de aislamiento.
7. 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.
8. Las maniobras de seccionamiento son realizadas manualmente por el personal encargado de mantenimiento de las redes de MT y BT.

Figura 5-4

La Red: actualidad



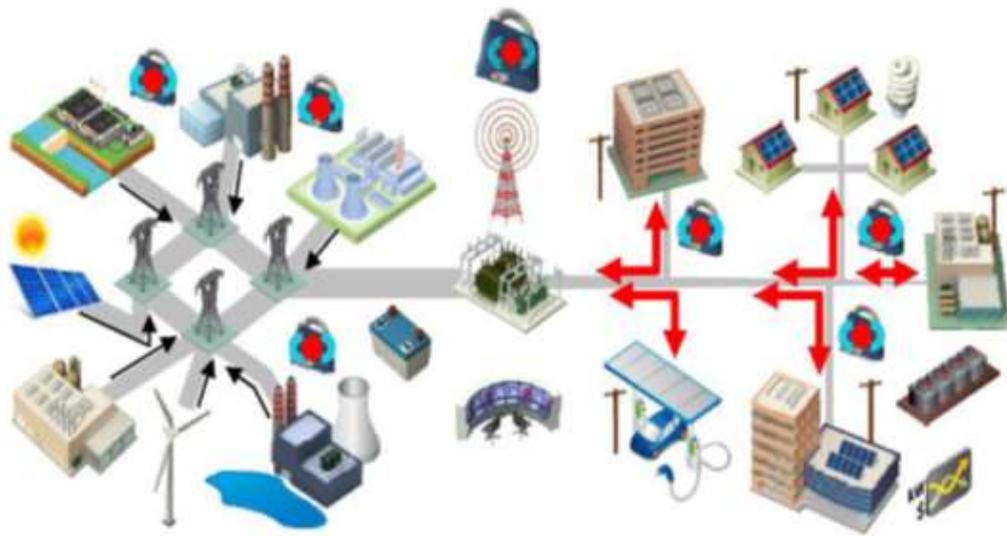
Fuente: CostBenefit

5.6. *Nuevo Modelo Conceptual Centrado En El Cliente*

De acuerdo a fig. 5.5. La novedad de redes MT modificara sustancialmente el paradigma, más pensado en la gestión y oferta eléctrica transmitida al cliente final.

Figura 5-5

Nuevo modelo de Smart Grid centrado en el cliente



Fuente: Cost Benefit

5.7. *Ámbitos De Aplicación De Una Red Inteligente*

Debe entenderse que la conexión eléctrica funciona más como una conexión comunicativa en el sentido en que en su interior los dos actores o dominios intercambian información, hecho que sugiere que no se tratan de conexiones físicas, por el contrario, serían lógicas, donde se da la bidireccionalidad del intercambio de información.

Figura 5-6*Esquema ideal*

Fuente: NIST

En base a la Figura 5.6 podemos esquematizar en la tabla 5.4, donde se observarán a los actores que participan del nuevo modelo conceptual de una red inteligente, mostrando sus respectivos papeles dentro del sistema eléctrico. Desde la generación de energía eléctrica hasta el uso por parte del cliente final, todo el ciclo donde el uso de la GD aprovecha los recursos energéticos renovables. Asimismo, es importante señalar que la red inteligente es aquella donde se integra todas las gestiones de los usuarios asociados a ella como son: generadores, consumidores.

Tabla 5-4*Actores del novedoso proyecto*

DOMINIO	ACTORES EN DICHO DOMINIO
1. Consumidores	Usuarios finales. También pueden generar, almacenar y mejorar el uso de la energía, tradicionalmente son de tres tipos: domestico, comercial e industrial.
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 generarla y almacenarla
7. Distribución	Los que distribuyen electricidad para y desde los usuarios, también pueden generarla y almacenarla

Fuente: IEEE

Se exponen los actores del proyecto:

a. Consumidor

Estos actores poseerán GD, con información online sobre costos y usar dispositivos de gestión de consumo automatizados o inteligentes. Estos consumidores pueden ser industriales, comerciales o individuales; hay que añadir que el transporte con vehículos eléctricos será norma por lo que habrá gran demanda en las redes.

Figura 5-7

Área del consumidor



Fuente: NIST

b. Mercado

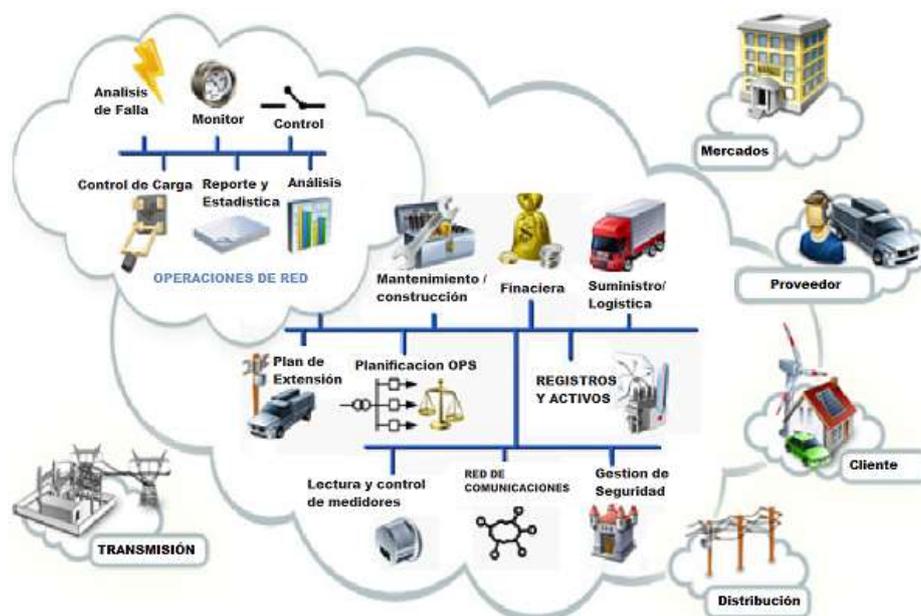
Este segmento debe ser altamente competitivo y sistemático sujeto por un núcleo que manda un enjambre unidades (centrales) esparcidas a lo largo del sistema. Su principal función es monitorear los consumos de energía los que luego son notificados a operadores / generadores.

d. Operador

Su principal cometido es avalar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico. Siendo capaces de modificar las programaciones de carga del despacho económico y restringirlo por razones técnicas. Tiene obligaciones sobre la planificación operacional, restaurar el servicio, evaluar los problemas, además de la expansión energética.

Figura 5-10

Área del operación



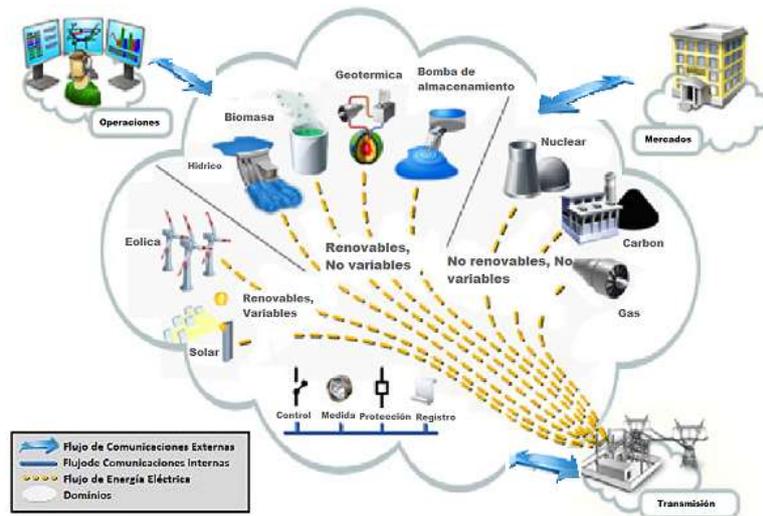
Fuente: NIST

e. Sistema

Estas GD están elanzados a varios nodos de la red, los que empujan las líneas de transmisión para canalizar la energía requerida por el consumidor.

Figura 5-11

Área del sistema



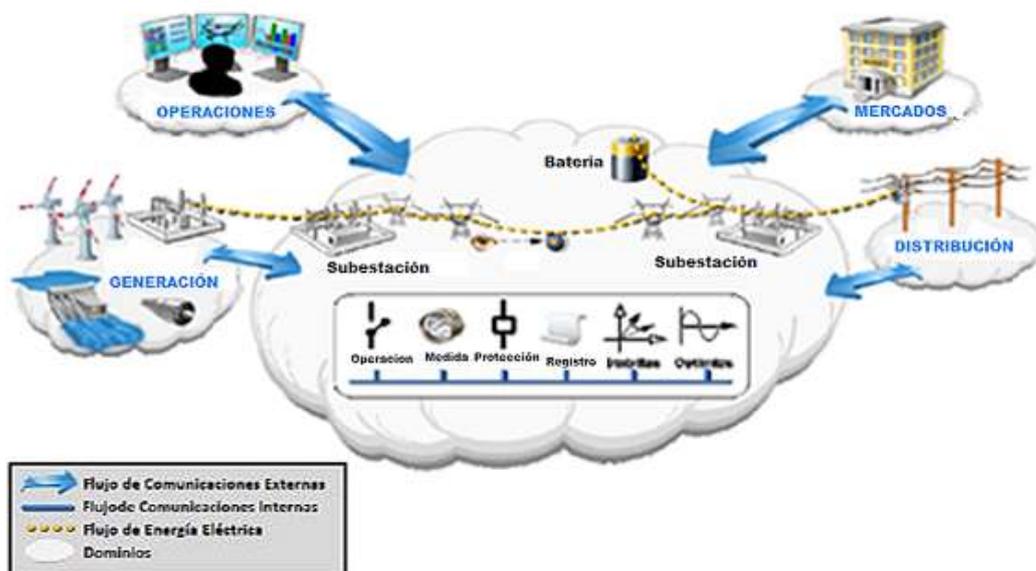
Fuente: NIST

f. Transmisión

Segmento encargado del transporte de energía por volúmenes y largas distancias. Estos transportadores pueden generar o/y almacenar.

Figura 5-12

Área de transmisión



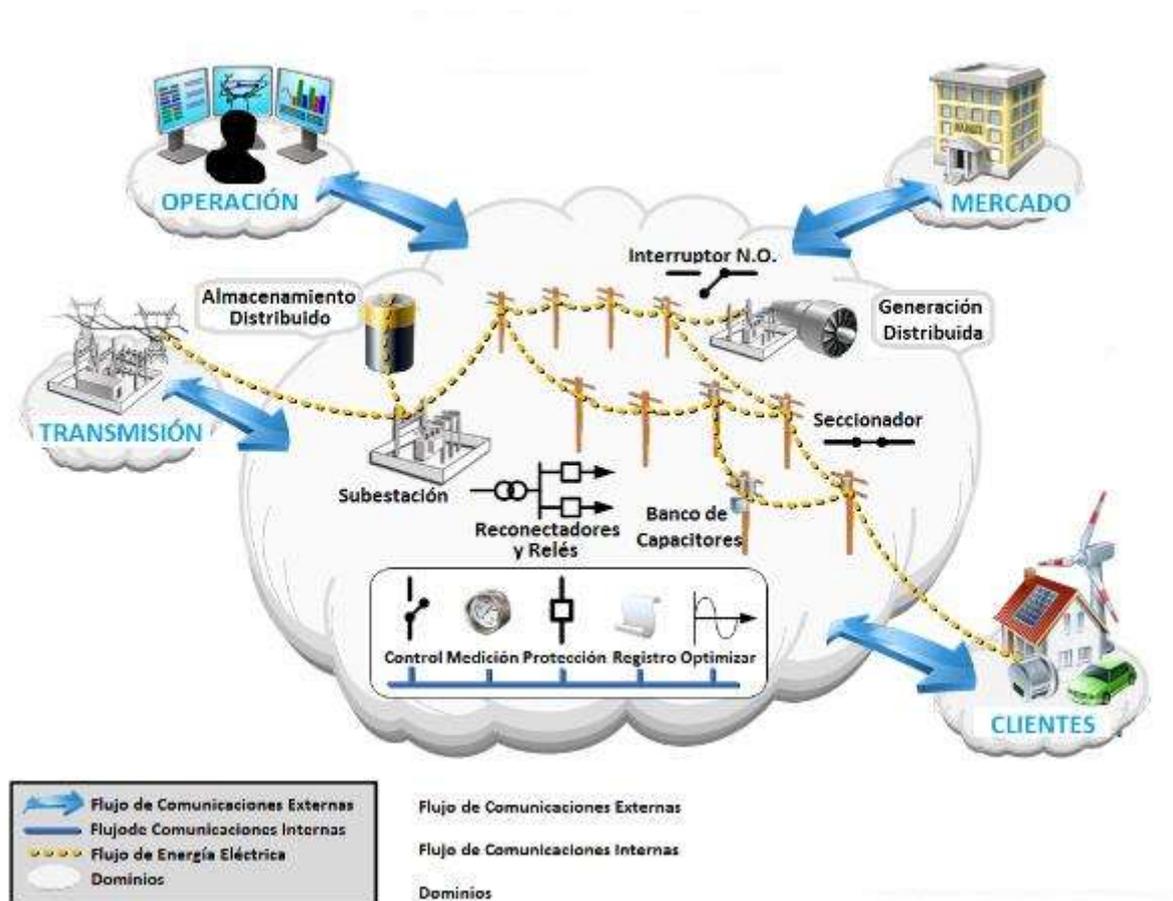
Fuente: NIST

g. Red de Distribución

Esta red distributiva se encuentra enlazada con la red de transmisión, comunicaciones y usuarios, todo ello monitoreado por el operador, los consumidores y los mercados, en la red se encuentran las GD además de sistemas de almacenamiento respectivamente.

Figura 5-13

Área de red de distribución



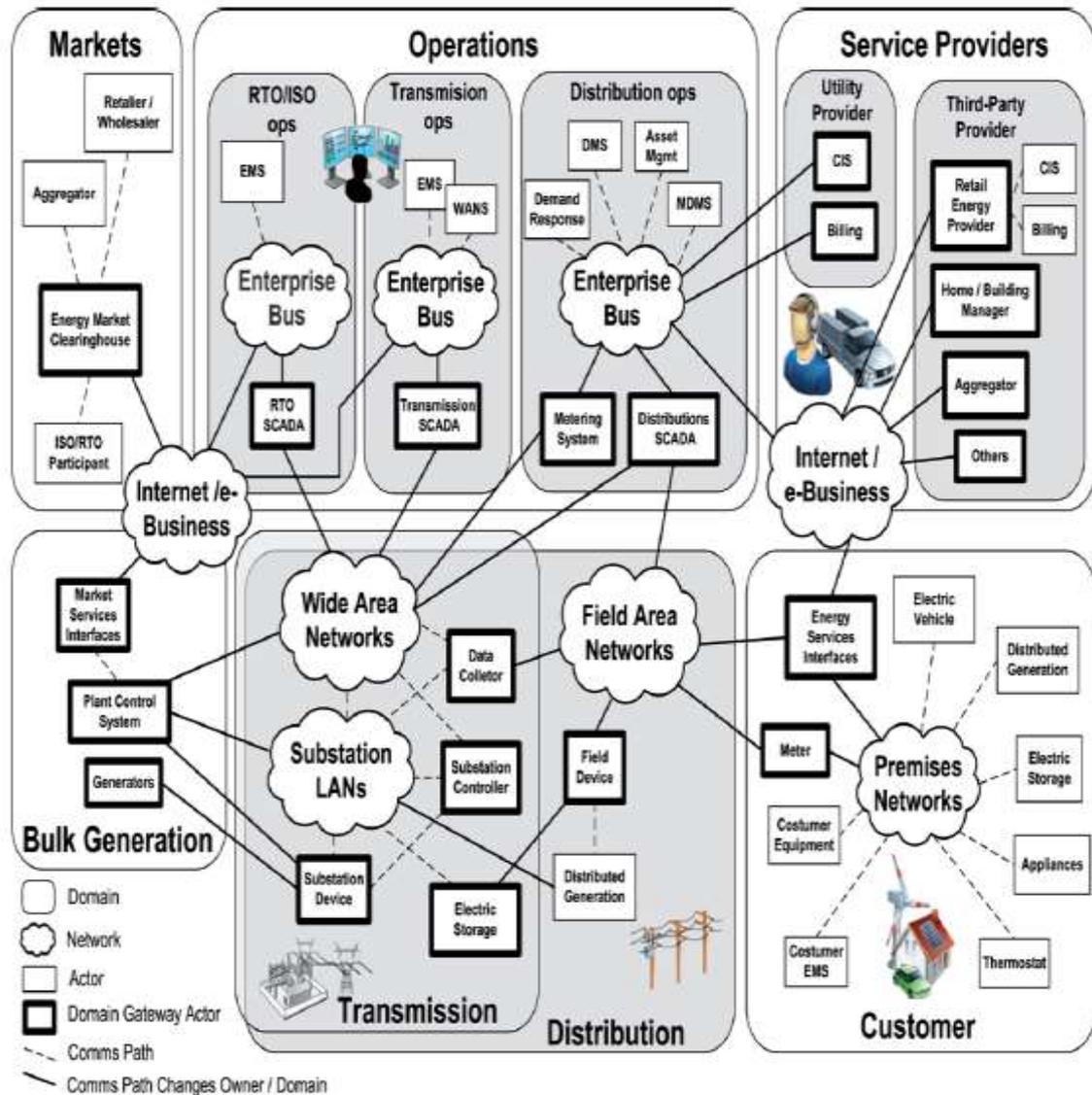
Fuente: NiST

De acuerdo Fig. 5.14 se presenta el esquema de una red inteligente denominada "Smart grid". Donde se integran todos los actores del sistema, consumidores, productores, operadores, transmisores y generadores. Todo ello asegura una operación con estándares de sostenibilidad

y eficiencia económica. Además, de ser un sistema con menos pérdidas y altísimo nivel de servicio que garantice un suministro seguro y protegido.

Figura 5-14

Diagrama arquitectónico de Smart Grid



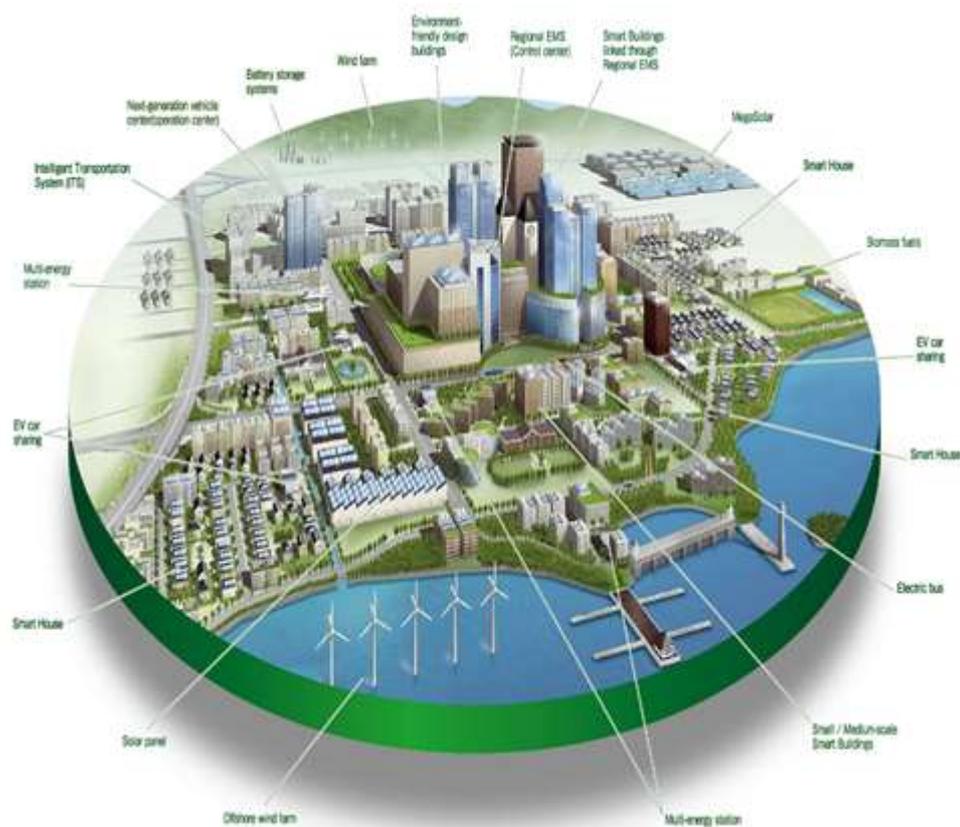
Fuente: NiST

5.8. *Aplicaciones Proyectadas*

Estas líneas inteligentes, mejoran principalmente toda “value chain” y sobre todo beneficia cliente final del servicio eléctrico.

Figura 5-15

Distribución de Smart grid



Fuente: WeF

5.9. *Tecnologías de Información y Comunicaciones (Tic)*

Díaz y Hernández (2011). Katz, 2010:

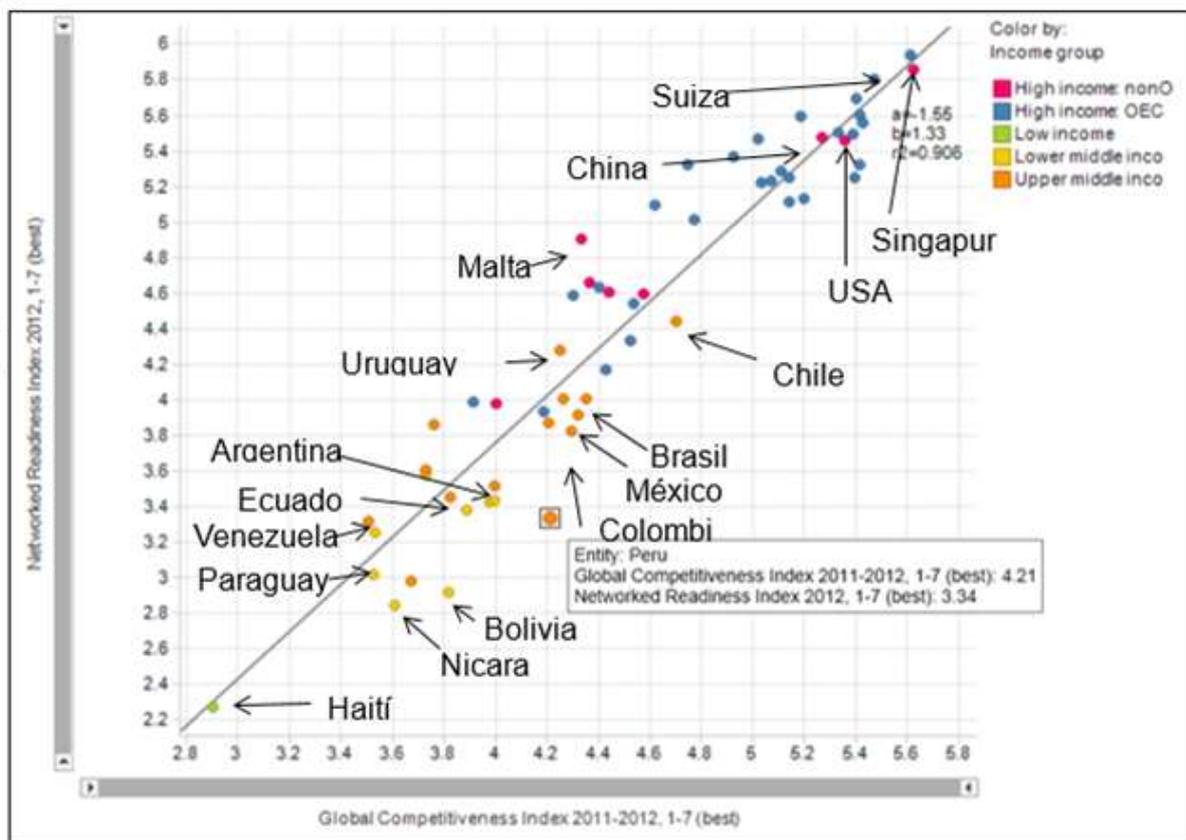
Con énfasis en TICs y redes eléctricas modernizadas son fundamentales para el negocio energético. Donde la capacidad de implementar la red inteligente significa gestionar una data inmensa, en tiempo real, sobre gestión, la distribución, el transporte o consumo de los clientes. Lo que requiere la implementación de infraestructura y servicios relacionados con TICs de manera segura y responsable.

5.9.1. Control Remoto de los Equipos del Sistema de Comunicación

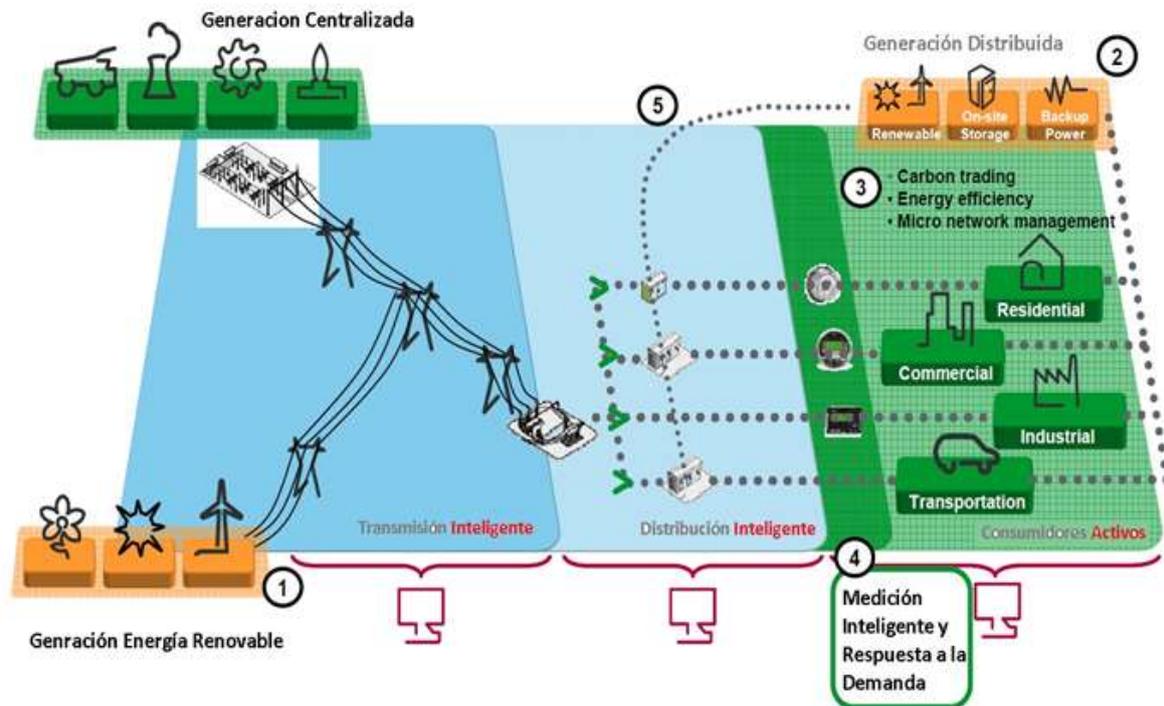
Basados en llaves de las S.E. de las GD en tensión media. Los que son monitoreados y controlados remotamente desde un centro de control a través del sistema SCADA perteneciente a cada S.E. Para ello cuentan con diferentes medios de comunicación inteligentes como: GPRS, PLC, IP Network, Fibra óptica y Radio.

Figura 5-16

Las TICs



Fuente: WeF

Figura 5-17*Smart Grid a lo largo del tiempo*

Fuente: OSINERG

5.10. Automatización de los Sistemas de Distribución

Es importante aclarar que las S.E. contemporáneos poseen seccionadores, reconectores e interruptores que no son automáticos. En muchos casos se han tenido que implementar actuadores los que trabajan sobre los demás equipos de accionar manual. En un entorno moderno es necesario que las condiciones de operación se hagan con equipos automatizados que optimicen.

5.11. Porque Automatizar las Redes de Distribución

De manera concreta la automatización requiere de una serie de trabajos sobre varios segmentos del sistema: análisis de protección, operación continua de la red, comunicaciones, monitoreo, control, información sistematizada, bases de datos, medición, etc. todo ello en tiempo real. Para ello se empleará la inteligencia computacional:

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

Figura 5-18

Automatización para detección de fallas

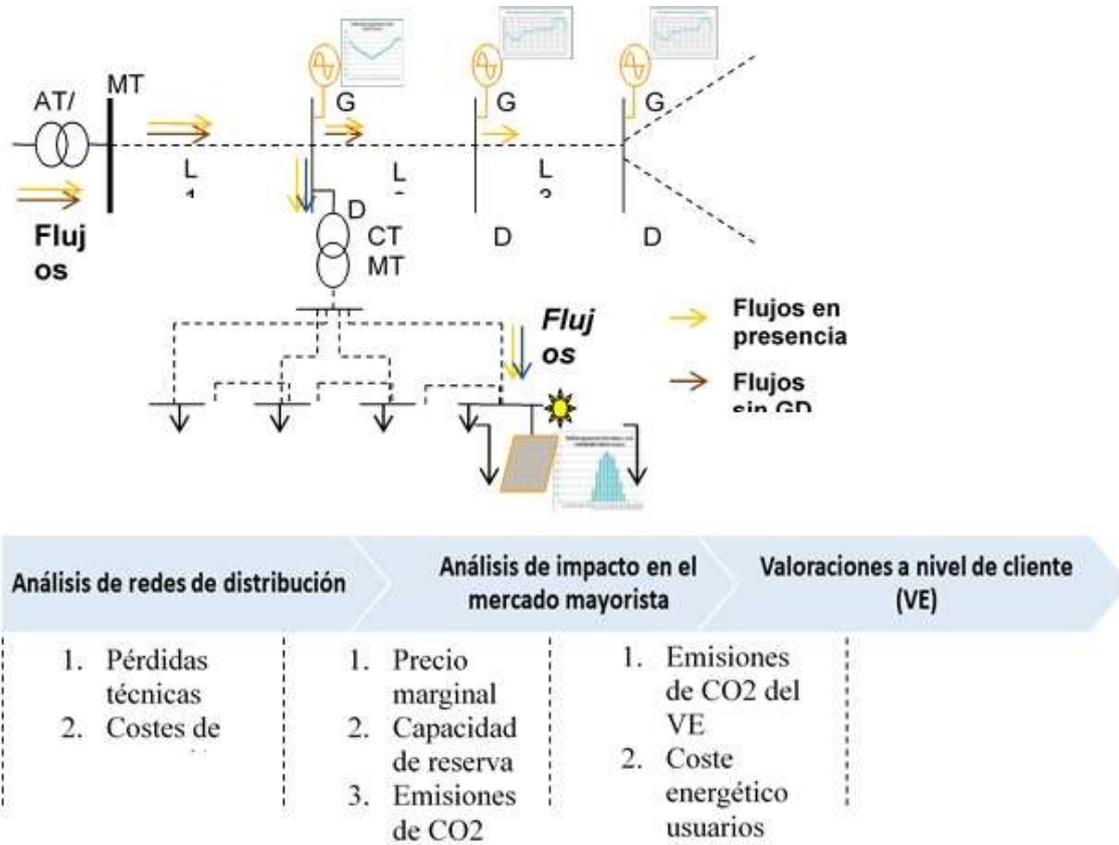


Fuente: Osinerg

5.12. Algunos Criterios para la Automatización de una Red en Media Tensión

Con el objetivo de la automatización de la red eléctrica se plantean los siguientes criterios:

Criterios de automatización de una red en media tensión	
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 de la cola del mismo.
3.	Definiremos los parámetros, tanto en la calidad del suministro con índices de interrupciones para poder mejorar el servicio a los usuarios.
4.	Definir claramente las metas y el horizonte de operación del sistema eléctrico de distribución.
5.	Definir las arquitecturas de control, automatización y monitoreo de una red inteligente con integración de generación distribuida.

Figura 5-19*Ubicación favorable de GD*

Fuente: Osinerg

5.13. Aplicación De Los Smart Grid En Sistemas De Distribución Sicuani

Electro Sur-Este, usa en el presente el Sistema Geo Referenciado (GIS), programa especializado en las ubicar geo referencialmente las fallas sobre el terreno. Habilidad que impactado positivamente en el tiempo de localización bajando los incidentes a un 50% además de la optimización del personal encargado de reparar dichas fallas.

Figura 5-21

Infraestructura Eléctrica de Distribución

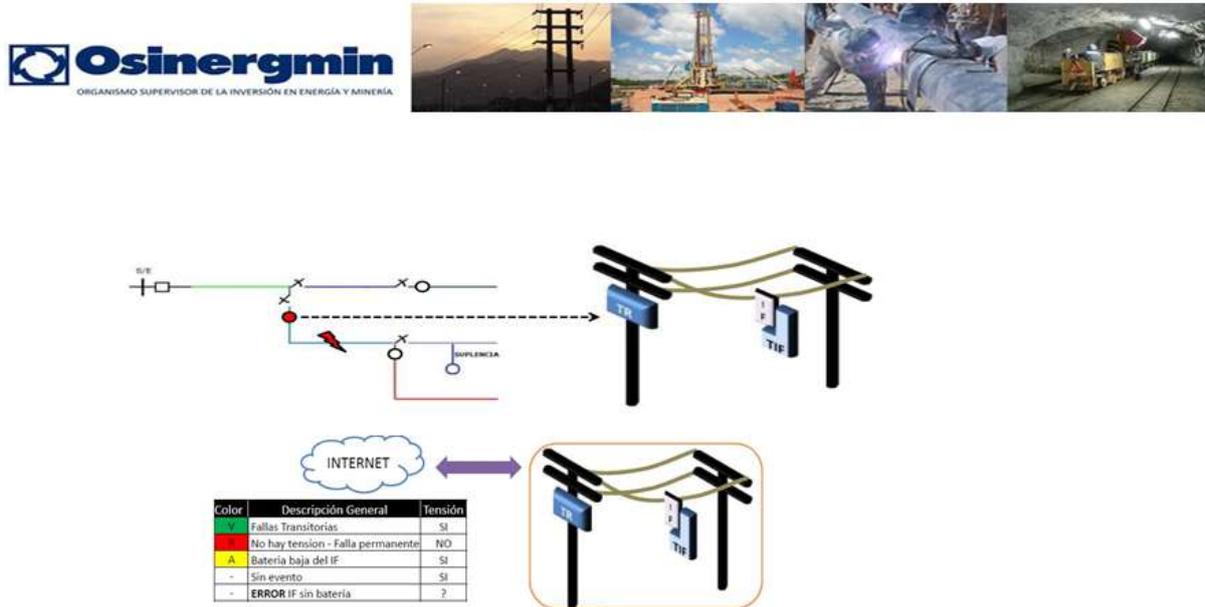


Tabla 5-5*Sistema eléctrico de ELSE*

N.º	Sistema Eléctrico	Sector Típico	Numero SEDs	Longitud MT (km)	Longitud BT (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	21.3	75.86
6	SE0038 Yauri	4	481	853.37	781.14
7	SE0039 Iñapari	3	6	1.56	7.56
8	SE0040 Valle Sagrado I	4	617	795.99	910.7
9	SE0041 Valle Sagrado II	5	499	826.75	1010.16
10	SE0042 Andahuaylas	4	736	927.4	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	3	60	27.32	102.62
14	SE0245 Vale Sagrado III	6	707	1073.7	1100.41
15	SE1034 Pto Maldonado Rural	4	209	288.48	115.48
16	SE1036 Machupichu	2	29	16.3	9.96
17	SE1042 Chacapuenta	6	228	623.27	295.39
18	SE1242 Combapata	5	467	754.11	860.93
19	SE2034 Mazuko	3	83	237.2	67.5
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			8555	11,758.67	13,810.03

Elaboración: personalmente en base a datos del ELSE

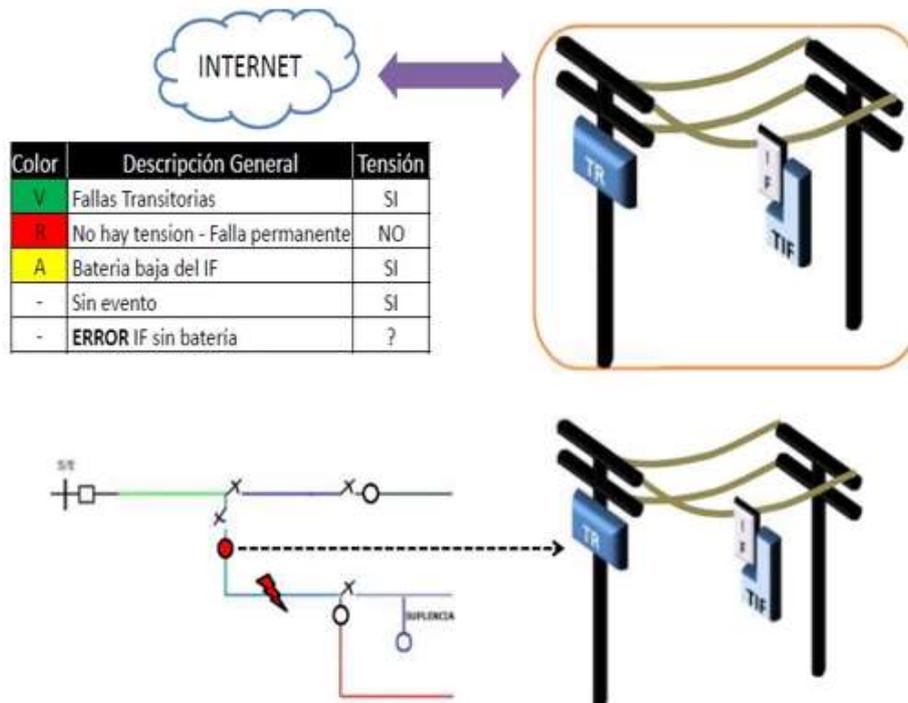
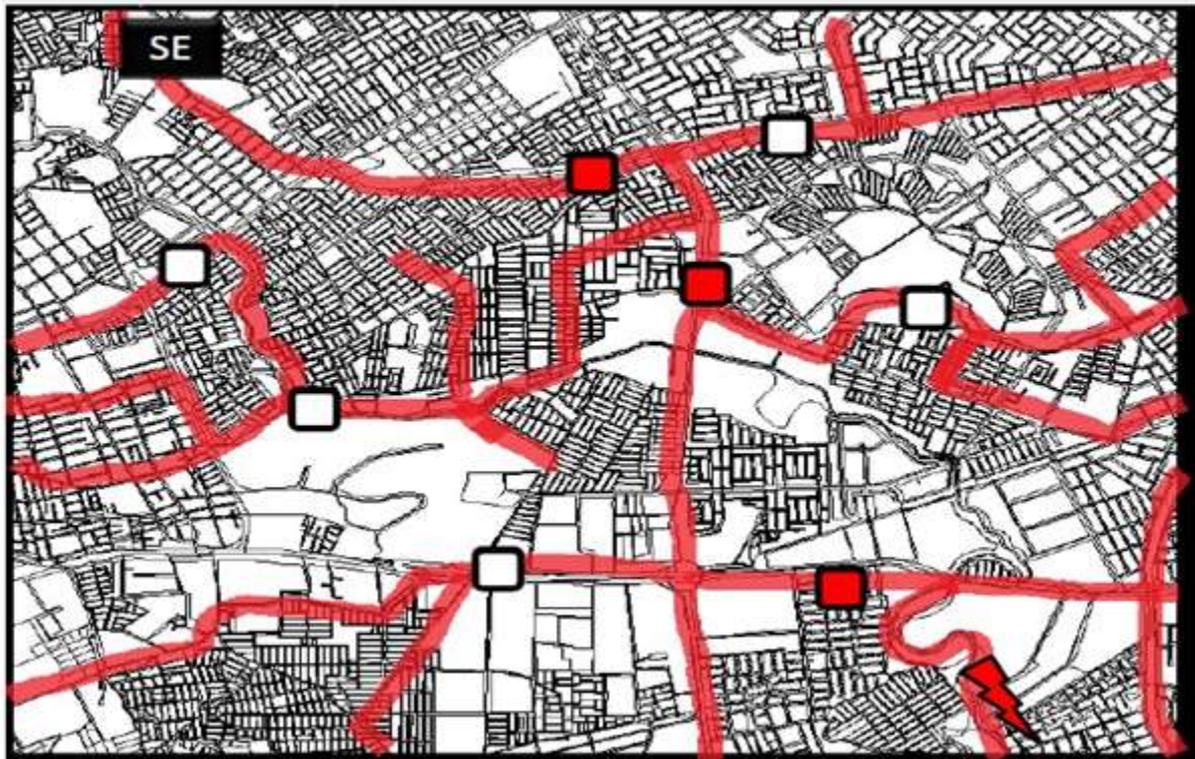
Tabla 5-6*Sectores típicos*

TIPIFICACIÓN	SECTOR TÍPICO
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

Elaboración: personalmente en base a datos del ELSE

Figura 5-22

Geolocalización de fallas



Fuente: Área de SID - Else

5.14. Análisis De Confiabilidad Con Aplicación De Redes Inteligentes Para Disminuir Índices De Interrupción

Sobre la capacidad de transferencia de energía entre alimentadores en estudio, se puede obtener a través de transferencia con otros alimentadores.

Por otro lado, se puede lograr con la incorporación de la GD, debido a lo cual se proponen dos algoritmos metodológicos, que permitirán un buen desarrollo como indicador de fallas y ubicación óptima de los equipos de protección como se muestran en las figuras 7.26 y 7.27 respectivamente.

La transferencia de carga entre alimentadores permite aislar las zonas de falla 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 - SI-01



Elaboración: personalmente Argis – área SID Else

Figura 5-24

Ubicación óptima de equipos de protección, seccionamiento e indicador de falla

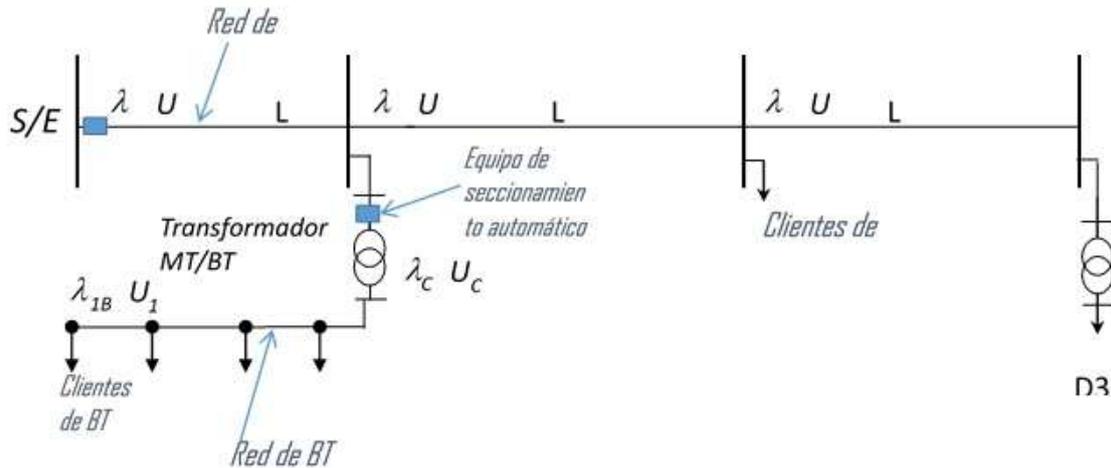
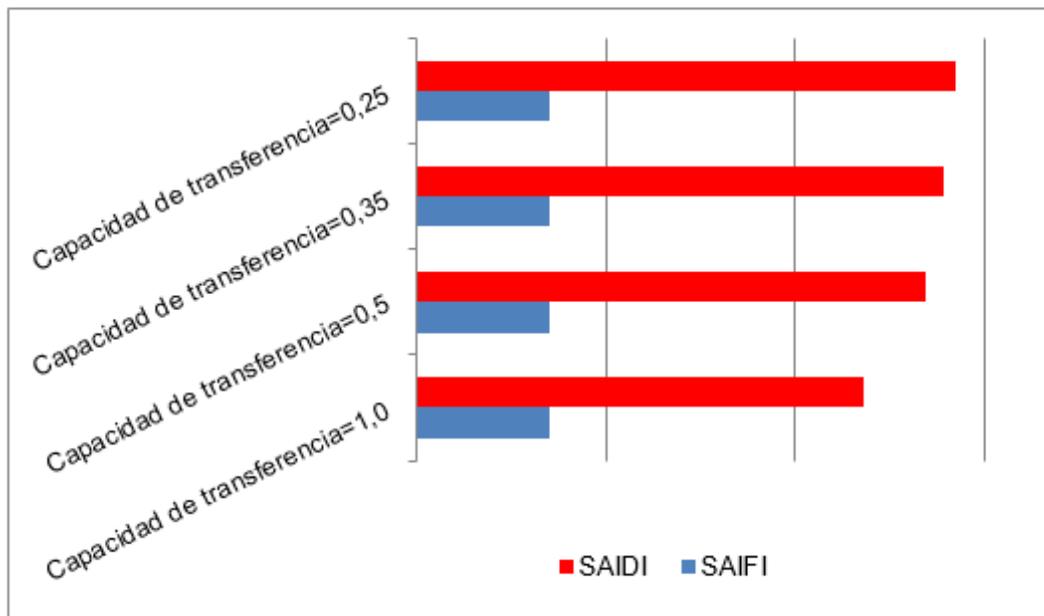


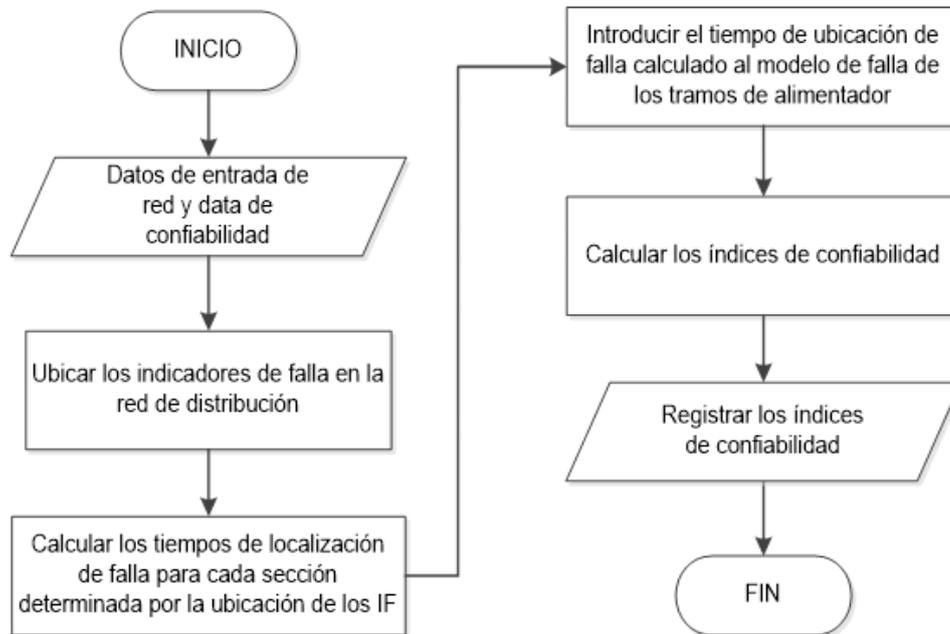
Figura 5-25

Capacidad de transferencia de acuerdo a los parametros de SAIDI - SAIFI

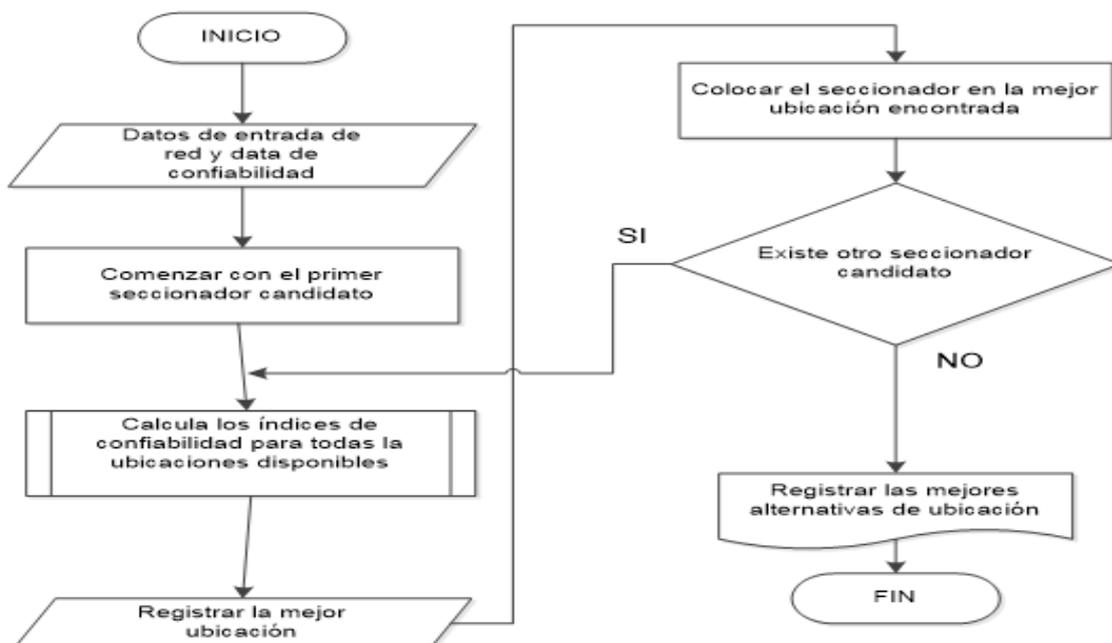
Cada uno de los componentes de red le confiere al sistema una indisponibilidad



Fuente: Osinerg

Figura 5-26*Algoritmo de indicador de una falla*

Fuente: elaboración propia

Figura 5-27*Algoritmos para la ubicación óptima de equipos de protección*

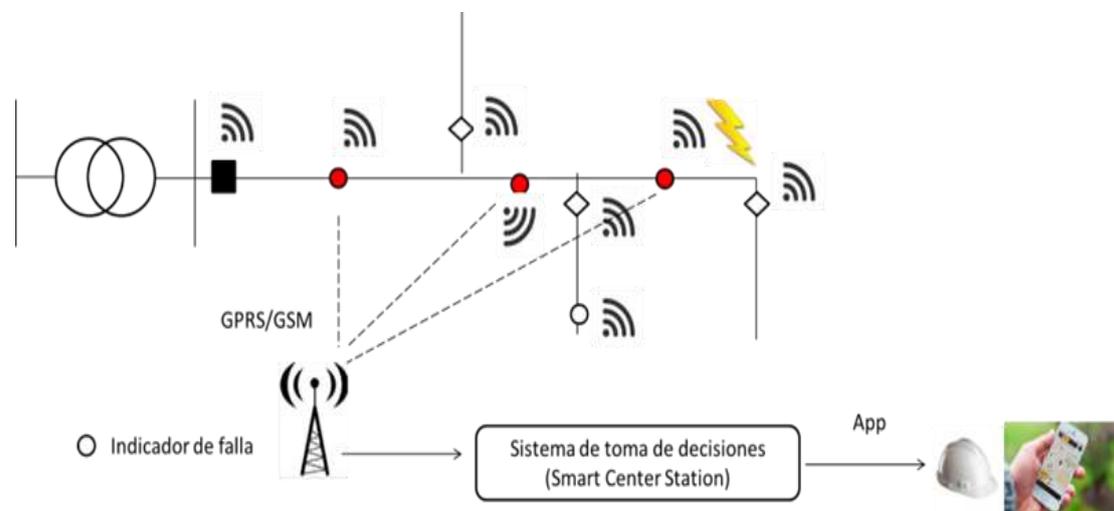
Fuente: elaboración propia

5.15. Sistema De Telecontrol Inteligente

En el caso de los equipos de indicadores y seccionamiento de falla, estas envían alertas al sistema de decisiones SCS situado en una Web Server. Cabe señalar que el punto de falla será hallado por un algoritmo de ubicación dado al personal a través de una aplicación móvil con las coordenadas de falla.

Figura 5-28

Sistema típico de distribución con IF y ESP, con Comunicación



Fuente: Elaboración propia

5.16. *Seccionizador Automático Restablecible*

Sayas, 2015:

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

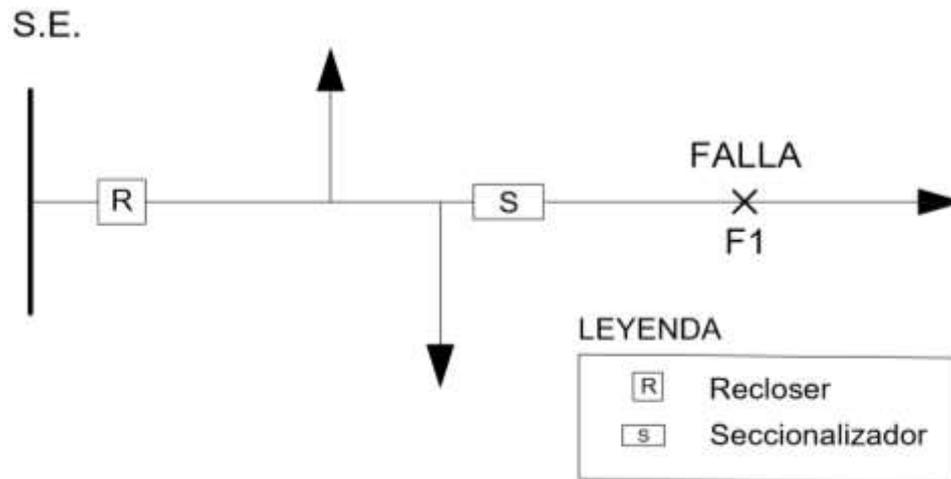
- Dispositivo de protección para redes aéreas de distribución Primaria
- Sensor electrónico incorporado al dispositivo.
- Discrimina una falla temporal de una falla permanente.
- Mejora el Sistema de coordinación con reclosers y fusibles.
- Estará instalado en un seccionador estándar o convencional
- 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 5-29

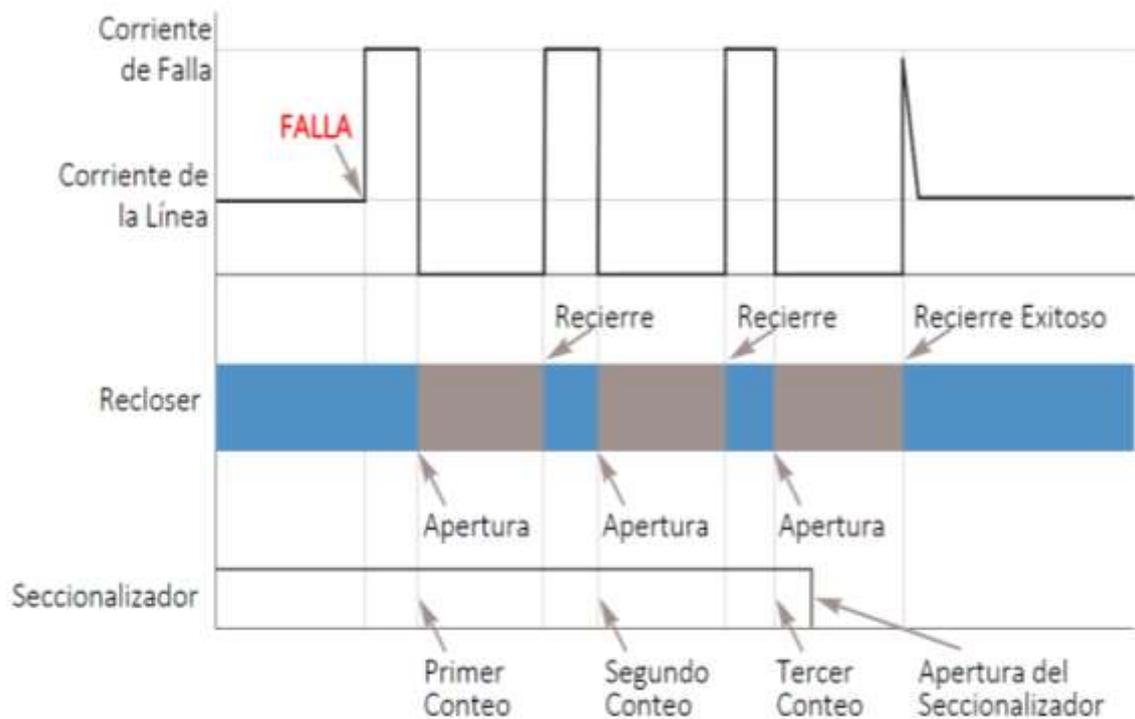
Seccionador automático



Fuente: CeLSA

Figura 5-30*Esquema para protección con seccionador*

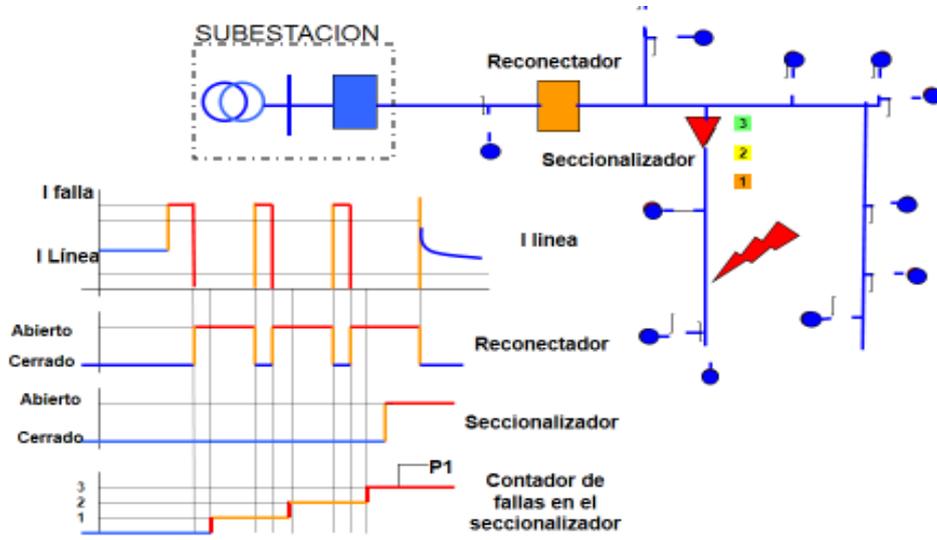
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-31*Operación del seccionizador para falla permanente (3 conteos)*

Fuente: INAEL

Figura 5-32

Sistema De Control Inteligente



Fuente: CeLSA

5.17. *Recloser o Interruptor Inteligente*

Poma (2015), indica que el recloser tiene la capacidad de acabar con la continuación de las corrientes desde la nulidad hasta su cabida de interrupción nominal, en 4 sucesiones establecidas a interrupciones cronometradas cuyo fin es la apertura respectiva.

La extinción de arco es posible a través de medios como; Aceite SF₆, Vacío, soplo de aire, soplo de aire-magnético.

Asimismo, se menciona que es un sistema capaz de recuperarse y tener una estabilización cuando se encuentra operando o en el caso de ocurrir eventualidades múltiples o simples.

Por otro lado, el Recloser también tiene una función SCADA y propone herramientas que protegen las líneas radiales suministrando una mayor división y enlace con los otros sistemas que protegen.

Figura 5-33

Montaje típico del recloser inteligente



Fuente: NOJA Pw.

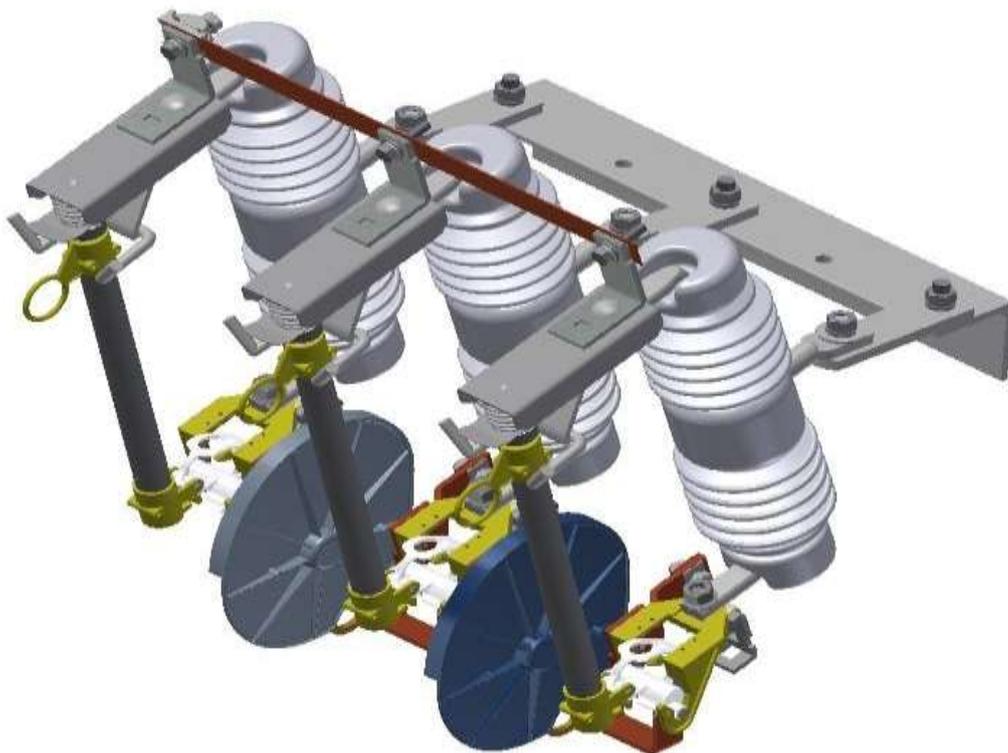
5.18. *Seccionadores De Repetición o Seccionador de Tres Etapas*

Respecto al seccionador de tres etapas se fundamenta en 3 plataformas de seccionador intercambiables y equipadas con sus concernientes portafusibles acopladas en un mismo cuerpo e integradas eléctrica y mecánicamente.

Dentro del sistema de distribución, los 3 grupos son acoplados durante sus etapas del, cuya finalidad es conservar a los circuitos funcionando y distribuyendo en el caso de presentar errores temporales.

Figura 5-34

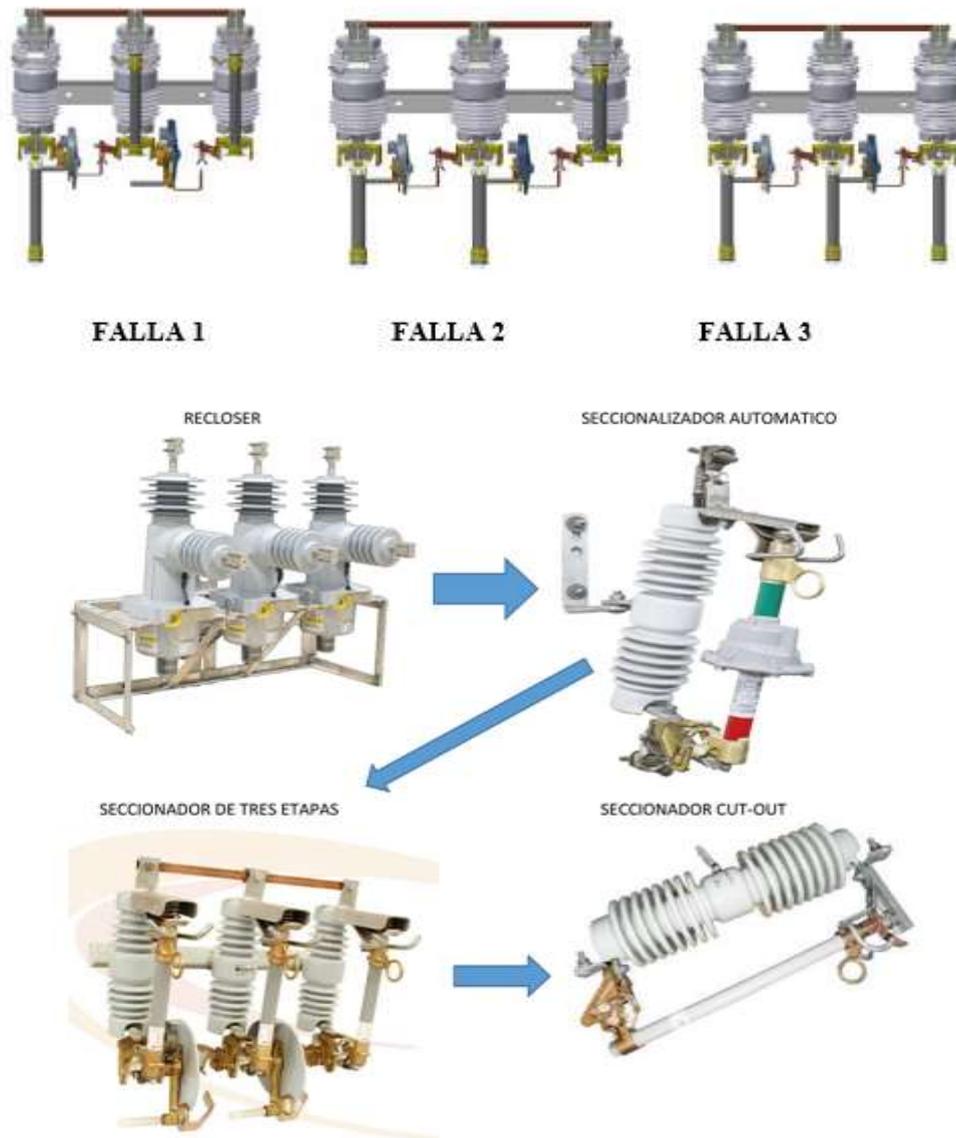
Seccionador de repetición o seccionador de tres etapas



Fuente: CeLSA

Figura 5-35

Alternativas de equipamiento de protección en distribución



Elaboración: personalmente

5.19. Propuesta de Protección Si-01 de S.E. Sicuani

Respecto a la funcionalidad de las C.H. Hercca - Langui, es posible gracias a la conexión con SI-01, fecha anterior al 2017, pero que algún momento fue nocivo, debido a que indujo al desenlace de SI-0, operando con/sin GD. A pesar que el error del sistema se ubicó en SI-05 and SI-02, respectivamente.

En la actualidad, GD se enlaza con SI-01 sin presentar problemas al sistema. Pues la corriente con aporte identificado en relación al error no resalta encima del flujo de disparo de 192 amperios perteneciente a SI01. Razón que apoya la operación saludable y segura de SI01, respectivamente.

Figura 5-36

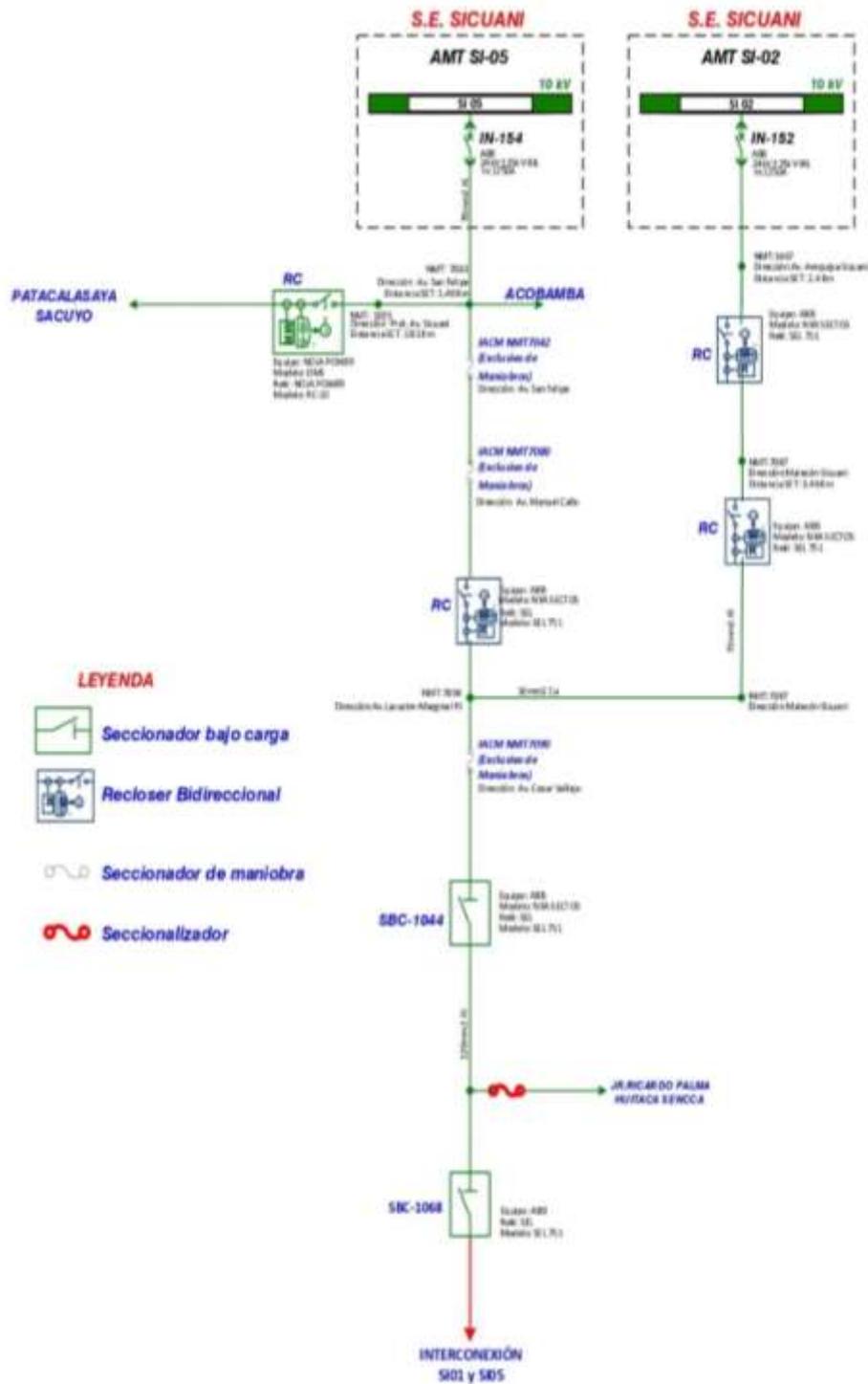
Disposición de los equipos de protección SI-01



Elaboración: Personal con DIGSILENT

Figura 5-38

Diagrama unifilar de modelo de redes inteligente AMT SI 02 y SI 05



5.20. *Comentarios Sobre Beneficios de los Smart Grids*

- Una de las ventajas de Smart Grid es que tiene el control de la red a diversos niveles de tensión en su etapa de operación, por ejemplo, en la subtransmisión, distribución a diferentes tensiones y transmisión, con el objetivo de ascender la confianza en la ejecución de sus acciones.
- Genera la autoregulación y autonomía del mercado de electricidad, ejecutando y supervisando de forma eficiente en horarios de alta demanda, integrándose al sistema mediante parques eólicos, solares y mini centrales para conservar la estabilidad y seguridad frente a cualquier eventualidad que pueda ocurrir.
- Accede a evaluar nuevos paradigmas de generación de electricidad en los que los usuarios pueden ser también generadores de su energía, a través de la aplicación de las fuentes verdes para Smart casas, accionando el acceso ante algún error.
- Aumenta el bienestar a los beneficiarios al disminuir las horas que demoran en reestablecer la electricidad, incrementando la confianza de SAIDI y SAIFI, ya que no existe una afectación al medio ambiente ni a la producción de terceros.
- Beneficia la administración de las compañías eléctricas concesionarias sobre todo en la proyección, con una mayor **rentabilidad, en operaciones futuras.**

CONCLUSIONES

- A. En este proyecto de tesis se demostró el impacto positivo en la calidad de suministro con la integración de energías renovables como generación distribuida GD en la operación de redes eléctricas inteligentes de media tensión MT en la ciudad de Sicuani, obteniendo importantes mejoras en los indicadores de gestión de energía; reduciendo el Saifi hasta en un 30.73 % y Saidi hasta en un 25.36 %, termina siendo una solución muy eficiente para mejorar la calidad de suministro.
- B. Se evaluó condiciones de operatividad, antes y después de la incorporación de energía renovable como generación distribuida (GD) en redes inteligentes de media tensión (MT) en la ciudad de Sicuani, obteniendo mejores niveles de calidad, seguridad y confiabilidad en el sistema eléctrico Sicuani con generación distribuida (GD).
- C. Se analizó las mejoras técnicas en los alimentadores de media tensión del sistema eléctrico Sicuani con la incorporación de energías renovables como generación distribuida (GD) en donde se reduce significativamente los niveles de caída de tensión con 2.30% con GD a comparación del 5.67% sin GD. En cuanto a la cargabilidad de los alimentadores de media tensión se reduce 14.31% con GD y aumenta 19.51% sin GD.
- D. Se planteó un modelo de una red de distribución inteligente en el sistema eléctrico Sicuani, incorporado con las energías renovables como generación distribuida (GD) mediante el alimentador de media tensión (AMT) SI 01, SET Sicuani, que permite un monitoreo en tiempo real el suministro de energía eléctrica, capaz de garantizar la continuidad del servicio, estableciendo un sistema más confiable.

RECOMENDACIONES

Primera. - Las Empresas distribuidoras de Energía eléctrica, establezcan con mayor agresividad en sus planes operativos la constante mejora e implementación equipos digitales para optimizar la automatización de las redes de distribución, así mismo plantear la 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. - Que se inicie con proyectos pilotos de generación distribuida integrados a redes inteligentes, para hacer viable las aplicaciones propuestas y que den solución a la problemática actual de calidad de 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, así como evitar las inversiones de gran envergadura en infraestructura que podría quedar obsoleta 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:
DIgSILENT 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.

ANEXOS

ANEXO A

OSINERG 074-2004-OS/CD

Procedimiento para la Supervisión de la Operación de los Sistemas Eléctricos.

ANEXO N° 1

Código de la empresa / sistema eléctrico

Año /mes

Información requerida:

Código Interrupción (Debe ser el mismo que se registra en aplicación del numeral 6 del presente procedimiento y también debe ser el mismo al que se le asigna en aplicación de la NTCSE)
Código de instalación causante de la interrupción De acuerdo a lo establecido en el numeral 5 del presente procedimiento
Fecha y Hora Inicio Interrupción dd/mm/aaaa
Fecha y Hora Fin de Interrupción dd/mm/aaaa (Cuando se reponen a todos los afectados)
Número de usuarios afectados (Estimado)
Demanda afectada kW (Estimado) (Valor estimado de la demanda interrumpida al momento de ocurrido el hecho).
Naturaleza de la Interrupción Programada No Programada Rechazo de Carga Fenómenos Naturales
Actividad a la que pertenece la instalación causante de la interrupción Distribución Transmisión Generación
Propiedad de la instalación causante de la interrupción Propias Terceros
Código Causa de interrupción (será alcanzada por la Gerencia de Fiscalización Eléctrica)
Se Solicito Fuerza Mayor Si No
Tipo de Protección que actuó Interruptor Cut – out Seccionador Rele distancia Otros
Código Componente donde se encuentra la Protección que actuó

ANEXO N° 2

Código de la empresa/ sistema eléctrico

Año / Mes

Información mensual requerida de indicadores SAIFI y SAIDI según se indica:

<input type="checkbox"/>	Interrupciones Programadas
<input type="checkbox"/>	Interrupciones No Programadas
<input type="checkbox"/>	Interrupciones por Rechazo de Carga
<input type="checkbox"/>	Interrupciones atribuibles a instalaciones de Distribución
<input type="checkbox"/>	Interrupciones atribuibles a instalaciones de Transmisión
<input type="checkbox"/>	Interrupciones atribuibles a instalaciones de Generación
<input type="checkbox"/>	Interrupciones debido a causas propias
<input type="checkbox"/>	Interrupciones debido a causas externas
<input type="checkbox"/>	Interrupciones debido a causas climáticas
<input type="checkbox"/>	Interrupciones donde se solicitó fuerza mayor

Nota: La concesionaria reportará los indicadores SAIDI (Duración Media de Interrupción por Usuario) y SAIFI (Frecuencia Media de Interrupción por Usuario) por cada sistema eléctrico y toda la concesión aplicando las siguientes fórmulas:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot u_i}{N} \quad SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{N}$$

Donde:

t_i : Duración de cada interrupción

u_i : Número de usuarios afectados en cada interrupción

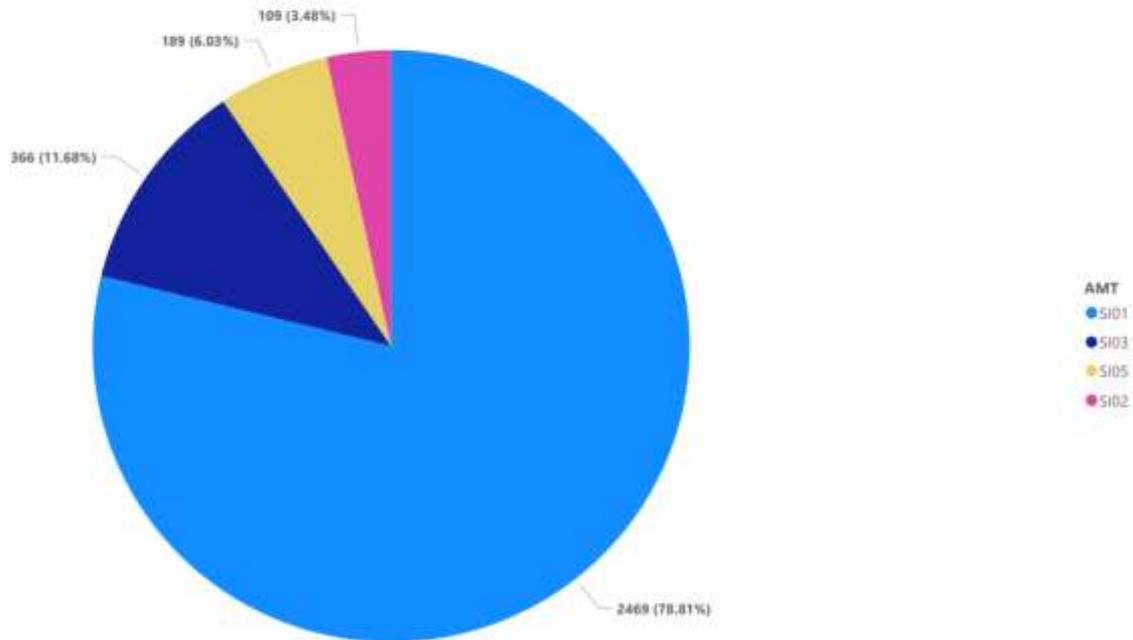
n : Número de interrupciones del periodo.

N : Número de usuarios del sistema eléctrico o concesionaria al final del periodo, según corresponda.

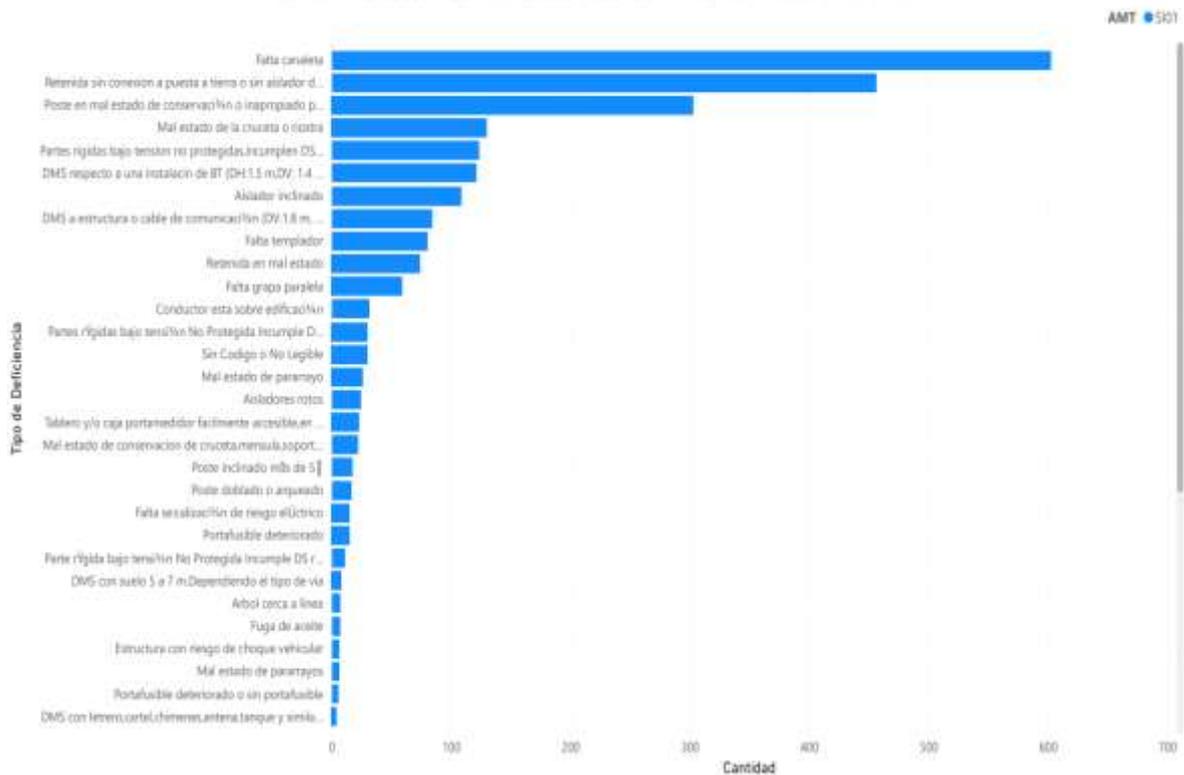
ANEXO B

Deficiencias identificadas en los alimentadores de media tensión del SE Sicuani, que podrían incurrir en una interrupción del servicio eléctrico afectando los indicadores del SAIDI y SAIFI.

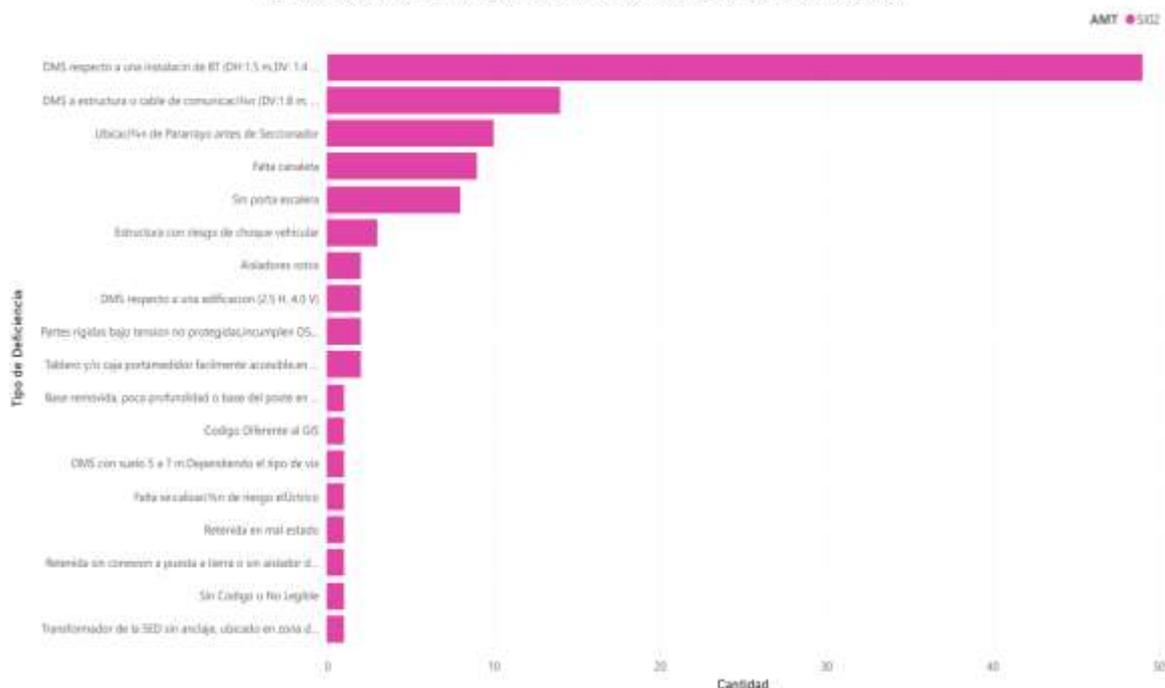
CANTIDAD DE DEFICIENCIAS EN EL SISTEMA ELECTRICO SICUANI



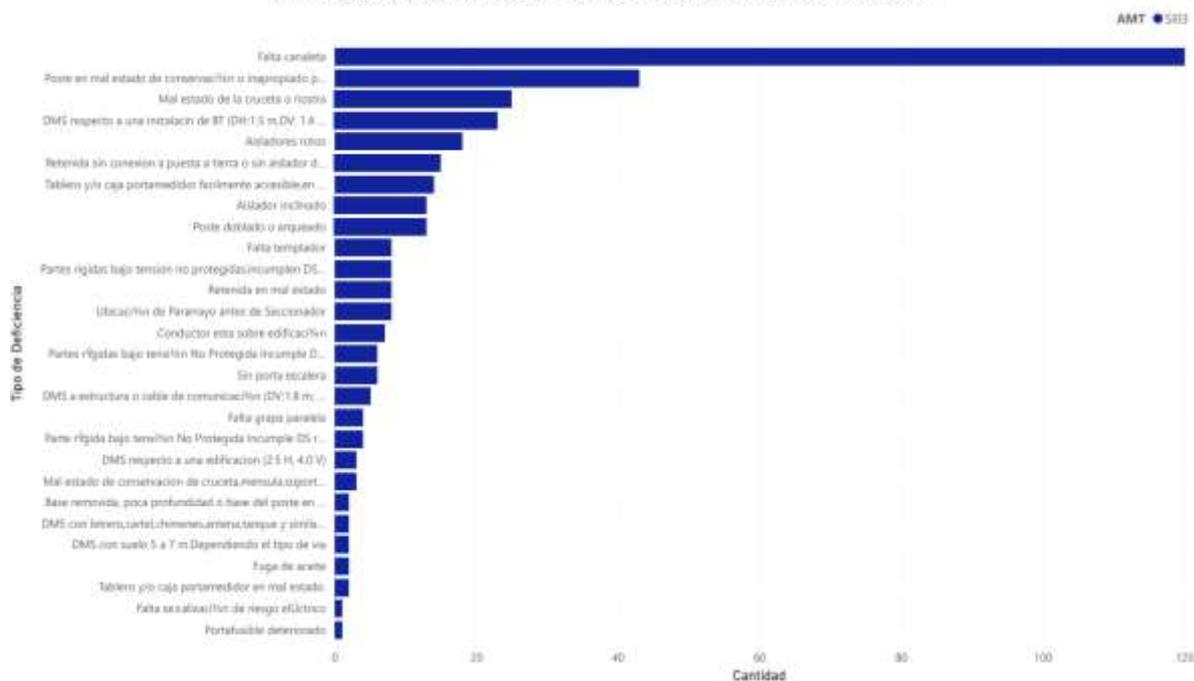
DEFICIENCIAS EN LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSION EN SECTOR ELECTRICO SICUANI



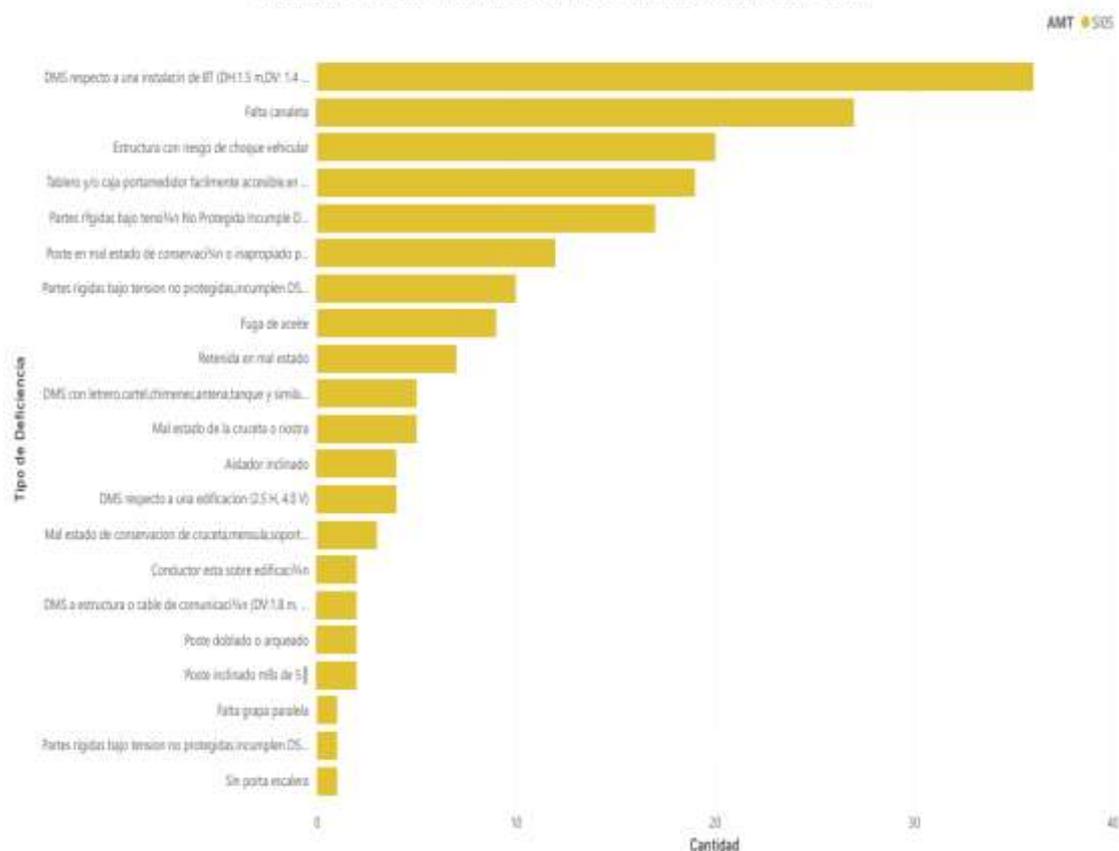
DEFICIENCIAS EN LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSION EN SECTOR ELECTRICO SICUANI



DEFICIENCIAS EN LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSION EN SECTOR ELECTRICO SICUANI



DEFICIENCIAS EN LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSION EN SECTOR ELECTRICO SICUANI



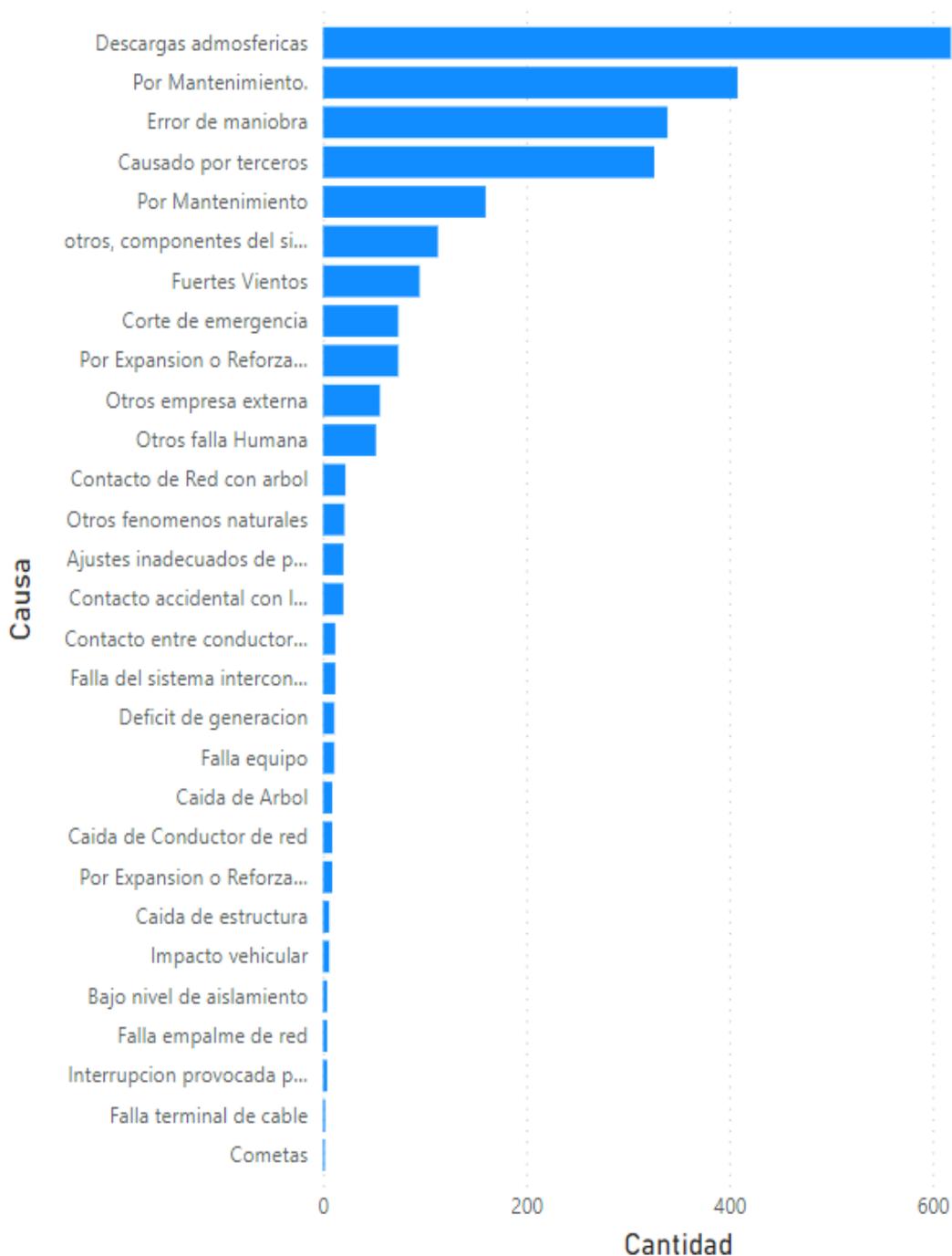
ANEXO C

EVALUACION DE COMPONENTES QUE INCURREN EN UNA INTERRUPCION
DEL SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA

Causa, Origen y Naturaleza.

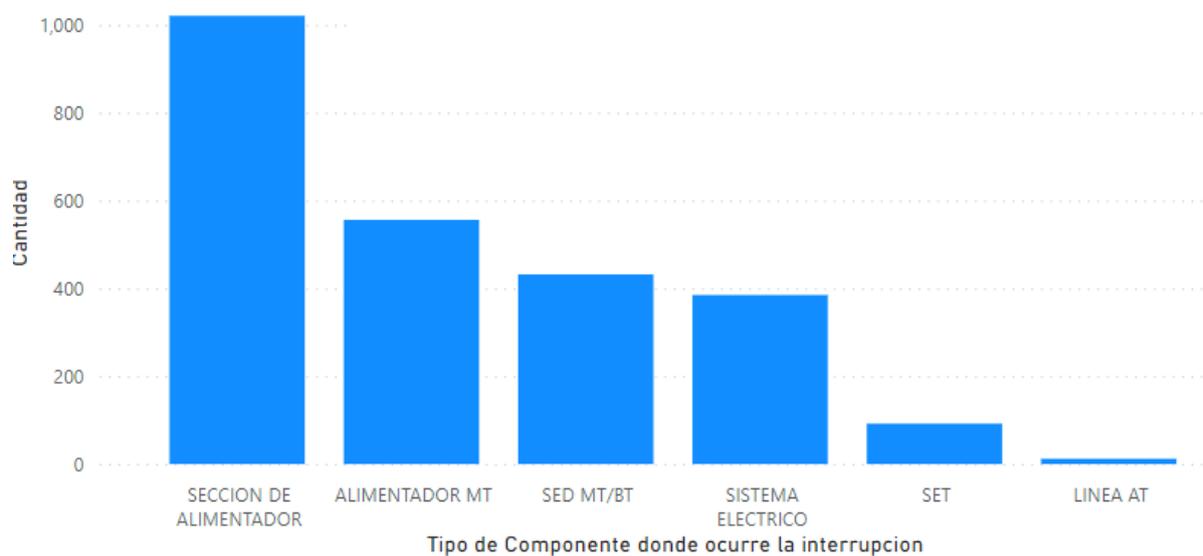
CAUSAS MAS FRECUENTES QUE OCACIONAN INTERRUPCION DE
ENERGIA ELECTRICA EN EL SE SICUANI

INTERRUPCIONES EN SE ELECTRICO SICUANI POR CAUSA DE FALLA



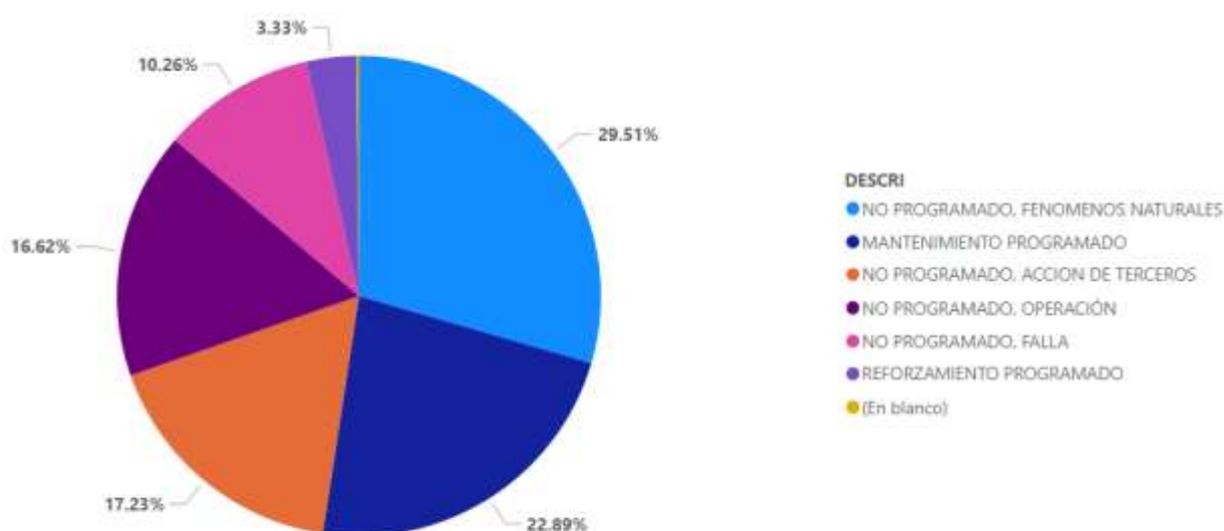
ORIGEN DE UNA INTERRUPCION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL SE

SICUANI



NATURALEZA DE UNA INTERRUPCION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL

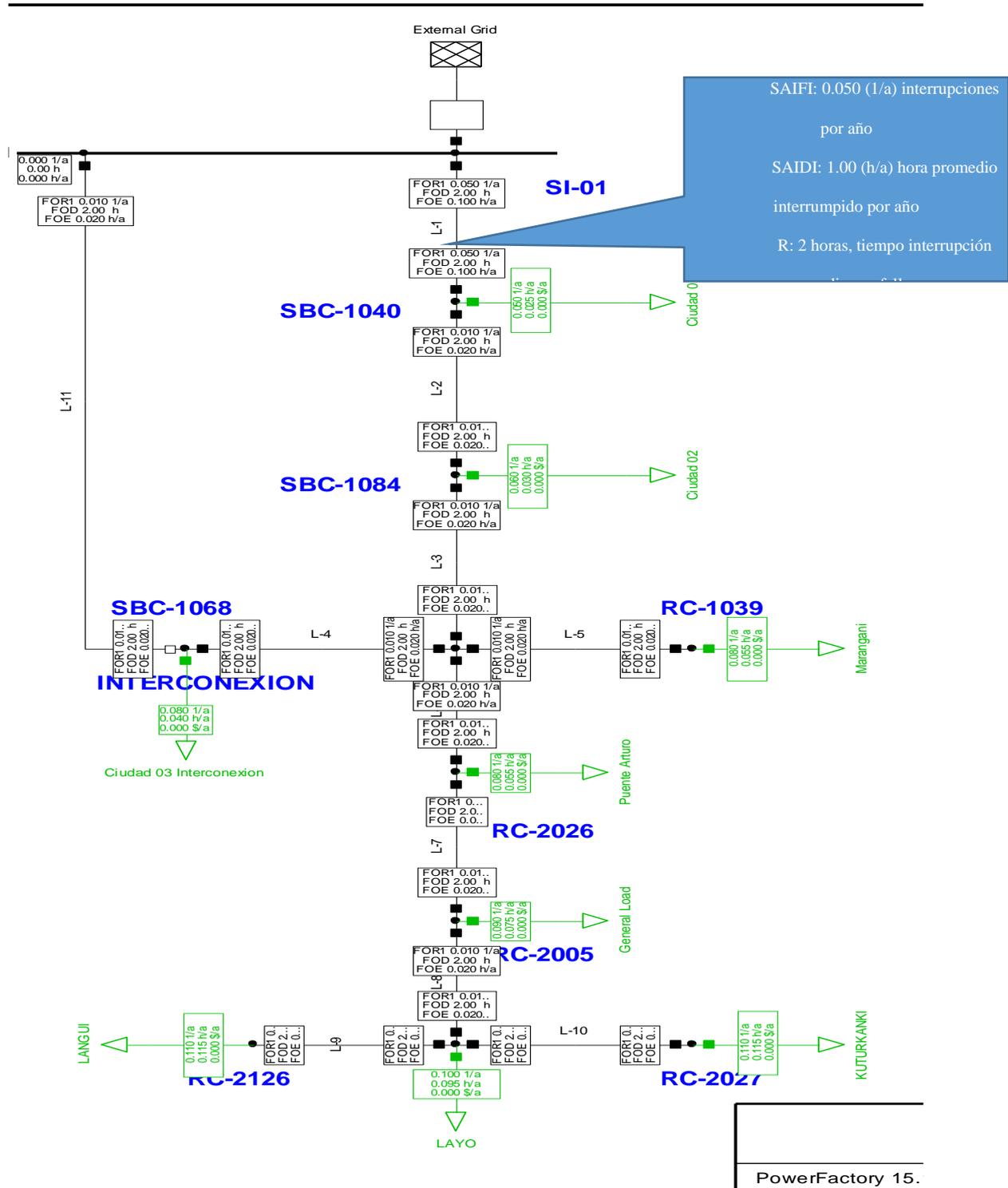
SE SICUANI



ANEXO D

ANALISIS DE CONTINGENCIA CON EL MODELO PROPUESTO

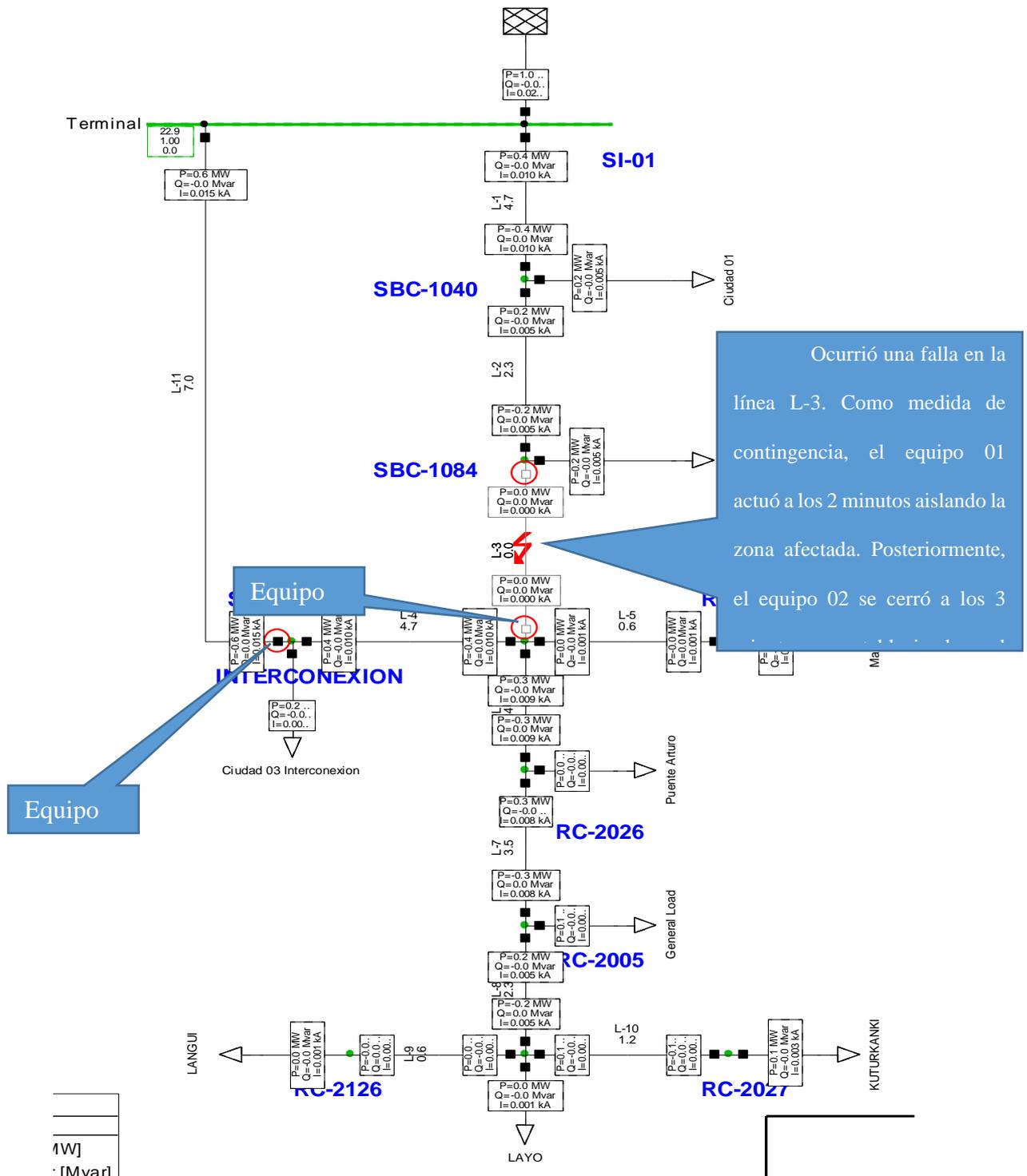
Se muestra el cálculo de los indicadores SAIDI, SAIFI y el tiempo de reparación promedio durante un año.



Fuente : Gerencia de Operaciones Electro Sur Este SAA (reportes de medición y reportes de SAIDI y SAIFI del año en estudio).

Análisis de contingencia: Con los datos reales de la cantidad de interrupciones y cantidad de usuarios afectado por tramo de línea afectado

Reporte de contingencia: falla en la línea L-3.



Contingency: L-3					
Fault location (n-1):					
Component:	L-3	Line			
Network:	Grid				
Repair Duration:	2.00 h (120 min)				
Failure frequency:	0.010 1/a				
Summary of failure effects					
	Power	Customers			
Interrupted:	600.0 kW	700			
Restored:	600.0 kW (100.0 %)	700 (100.0 %)			
Energy not supplied	300.0 kWh				
Interruption costs:	1/failure 0.0 k\$	Yearly 0.000 k\$/a	Yearly (load state) *100.00 % = 0.000 k\$/a		
Time [min]	Step	Action	Device	Station:	
0:00	Protection	Open	Switch		
					Interrupted: 600.0 kW
20:00	Short Circuit Indicator	Open	Switch		
					Interrupted: 600.0 kW
					Restored Power: 0.0 kW (0.0 %)
					Restored Customers: 0 (0.0 %)
					Totally Restored Power: 0.0 kW (0.0 %)
					Totally Restored Customers: 0 (0.0 %)
					ENS: (0:00 - 20:00) 200.0 kWh
					Total ENS: 200.0 kWh
30:00		Close	Switch		
					Interrupted: 0.0 kW
					Restored Power: 600.0 kW (100.0 %)
					Restored Customers: 700 (100.0 %)
					Totally Restored Power: 600.0 kW (100.0 %)
					Totally Restored Customers: 700 (100.0 %)
					ENS: (20:00 - 30:00) 100.0 kWh
					Total ENS: 300.0 kWh
120:00	Repair:				
					ENS: (30:00 - 120:00) 0.0 kWh
					Total ENS: 300.0 kWh

Debido a la interacción en tiempo real del sistema, se procede a aislar el tramo de línea con falla y se restablece el servicio mediante la transferencia de carga a través de los alimentadores SI-01, SI-02 y SI-05. Esta maniobra operativa permite reducir el tiempo total de interrupción y el número de usuarios afectados, generando así una disminución en los indicadores SAIDI y SAIFI general.

Topología antes

System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI =	0.084444	l/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI =	0.084444	l/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI =	0.067	h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI =	0.796	h
Average Service Availability Index	: ASAI =	0.9999923262	
Average Service Unavailability Index	: ASUI =	0.0000076738	
Energy Not Supplied	: ENS =	0.054	MWh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS =	0.000	MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI =	0.001	MWh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC =	0.000	M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR =	0.000	\$/kWh
System energy shed	: SES =	0.000	MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI =	0.076499	l/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI =	0.054000	h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI =	0.000000	l/Ca

Topología después

System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI =	0.052416	l/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI =	0.052416	l/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI =	0.054	h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI =	0.759	h
Average Service Availability Index	: ASAI =	0.9999926814	
Average Service Unavailability Index	: ASUI =	0.0000073186	
Energy Not Supplied	: ENS =	0.052	MWh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS =	0.000	MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI =	0.001	MWh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC =	0.000	M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR =	0.000	\$/kWh
System energy shed	: SES =	0.000	MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI =	0.076499	l/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI =	0.05 00	h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI =	0.000000	l/Ca

□