



Una propuesta basada en Smart Grid para mejorar la electrificación rural en el Perú

Tesis presentada en satisfacción de los requerimientos para obtener el
grado de Magíster en Administración por:

Benito Misaray, Rocio Pamela

Huanachin Osorio, José Wilfredo

Rodríguez Rodríguez, Jorge Isaac

Programa de Maestría en Administración a Tiempo Parcial 63

Lima, 12 de setiembre de 2019

Esta tesis

**Una propuesta basada en Smart Grid para mejorar la electrificación rural
en el Perú**

ha sido aprobada.

.....
Richard Moarri Nohra (Jurado)

.....
Edwin Quintanilla Acosta (Jurado)

.....
Germán Velásquez Salazar (Asesor)

Universidad ESAN

2019

Agradezco a mis padres, María y Félix, a mis hermanos y a todos los que me apoyaron en esta etapa. Gracias por su incondicional ayuda.

Rocio Pamela Benito Misaray

Con esta tesis deseo agradecer todo el apoyo brindado por mis padres, Susana y José; mis hermanos Alberto, Nela y Fabiola; a mis sobrinos todos y familiares cercanos que me dieron su alegría y palabras de aliento en los momentos más importantes; a las amistades y compañeros de trabajo que estuvieron dando ánimo en las etapas relevantes de este camino y en las horas cruciales... Y también a nuestra compañera de grupo Nadya Pimentel Sánchez y a su esposo Marlon Franco Salazar por habernos acompañado en todo este proceso de estudio. Espero en algún momento de esta vida poder retribuir a todos su apoyo

Jose Wilfredo Huanachin Osorio

Agradezco a Dios, mis padres, mis amigos y especialmente a mi esposa Norma Guevara Carranza por la paciencia y comprensión durante el desarrollo del MBA.

Jorge Isaac Rodriguez Rodriguez

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABLAS	IX
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema de Investigación	3
1.3 Pregunta de Investigación.....	3
1.4 Objetivos de Investigación	4
1.4.1 Objetivo principal.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Alcances y limitaciones	4
1.6 Justificación	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Conceptos básicos de Gestión Pública	6
2.2.1 Políticas públicas	6
2.2.2 Estrategia y planificación estratégica	7
2.2.3 Responsabilidad social	10
2.3 Sistemas eléctricos de energía	13
2.3.1 Términos básicos de electricidad.....	13
2.3.2 Sistemas eléctricos de energía (SEE)	13
2.4 Smart Grid	17
2.4.1 Definición.....	17
2.4.2 Tendencias en el sector eléctrico.....	17
CAPÍTULO 3. EL PROBLEMA DE LA ELECTRIFICACIÓN EN LORETO	23
3.1 Introducción.....	23
3.2 El problema de la electrificación rural en el mundo.....	24
3.3 El problema de la electrificación rural en el Perú	24
3.4 Normativa existente.....	25
3.5 El proceso de electrificación rural	26
3.6 Agente privado ERGON.....	28
3.7 Tipos de intervención técnica	29
3.8 Estado situacional de la electrificación rural en la Región Loreto	29

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE SMART GRID DENTRO DEL PROCESO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

4.1	Introducción.....	32
4.2	Políticas públicas	33
4.2.1	Políticas Públicas Nacionales	33
4.2.2	Políticas Sectoriales (MINEM):	33
4.2.3	Políticas en electrificación rural:	33
4.3	Utilización de estrategia	36
4.3.1	Desarrollo de la misión y la visión	36
4.3.2	Análisis externo	37
4.3.3	Análisis interno.....	41
4.3.4	Estrategias a implementar.....	41
4.3.5	Medición y evaluación del desempeño.....	42
4.3.6	Ética de negocio, responsabilidad social y sostenibilidad.....	43
4.4	Proceso general de selección de alternativas de electrificación rural.....	44
4.5	Revisión bibliográfica sobre propuestas de evaluación técnica	45
4.6	Proyectar la demanda (AsIs)	46
4.7	Proyectar la demanda (ToBe).....	49
4.8	Evaluación técnica (As Is).....	56
4.9	Evaluación técnica (To Be)	57
4.10	Evaluación económica.....	60
4.10.1	Evaluación Privada.....	61
4.10.2	Evaluación Social	63
	CAPÍTULO 5. CASO COLONIA ANGAMOS	65
5.1	Introducción.....	65
5.2	Situación actual de la Colonia Angamos	66
5.3	Proyección de la demanda a 10 años	69
5.4	Caso 1: Sistema Eléctrico Térmico	71
5.4.1	Proyectar la demanda	71
5.4.2	Diseñar Sistema Eléctrico Térmico	72
5.4.3	Evaluación Económica	73
5.5	Caso 2: Sistema Eléctrico Fotovoltaico.....	73
5.5.1	Proyectar la demanda	73
5.5.2	Diseñar Sistema Eléctrico Fotovoltaico	74
5.5.3	Evaluación Económica	75
5.6	Caso 3: Sistema Híbrido	76
5.6.1	Proyectar la demanda	76

5.6.2	Diseñar Ampliación de Red Eléctrica	76
5.6.3	Diseñar Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios.....	76
5.6.4	Diseñar Sistema Híbrido.....	77
5.6.5	Evaluación Económica	82
5.7	Comparación de resultados.....	84
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES		85
6.1	Conclusiones.....	85
REFERENCIAS		87

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Planeamiento Estratégico - Modelo de Fred David.....	8
Figura 2.2: Costos y beneficios de las medidas socialmente responsable	12
Figura 2.3: Ejemplo básico de una SEE.....	14
Figura 2.4: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.....	16
Figura 2.5: Tres tendencias de la transformación de la industria eléctrica.....	18
Figura 2.6: Principales tecnologías en la descentralización.....	20
Figura 3.1: Cobertura de electricidad por departamentos.....	25
Figura 3.2: Electrificación Rural - Evolución de la normativa.....	25
Figura 3.1: Electrificación rural - Agentes.....	27
Figura 3.2: Ergon - sistema fotovoltaico domiciliario	28
Figura 3.3: Ergon – tipos de instalaciones	28
Figura 3.4: Loreto - Viviendas con y sin energía eléctrica.....	30
Figura 3.5: Estado de la electricidad por centro poblado.....	31
Figura 4.1: Políticas en Electrificación Rural	33
Figura 4.2: Políticas en Electrificación Rural	34
Figura 4.3: Estrategia para el Sector Minero - Energético.....	35
Figura 4.4: Proyección del Coeficiente de Electrificación Rural.....	35
Figura 4.5: ODS de la ONU alineados a las políticas de Electrificación Rural.....	36
Figura 4.6: Evolución porcentual del PBI de Perú.	37
Figura 4.7: Evolución de inversiones ejecutadas en el sector eléctrico.	38
Figura 4.8: Niveles de electrificación en Sudamérica, 2013.....	38
Figura 4.9: Evolución del coeficiente de electrificación 1993-2005.	38
Figura 4.10: Proyección del coeficiente de electrificación al 2025.	39
Figura 4.11: Cobertura y precio de la electricidad por Regiones.....	39
Figura 4.12: Gráfico de competitividad.	40
Figura 4.13: Análisis de competitividad de la región de Loreto.....	40
Figura 4.14: Inversión en proyectos de electrificación a nivel nacional.....	41
Figura 4.15: Objetivos estratégicos generales.	42
Figura 4.16: Plan operativo 2018 alineado al Plan estratégico 2017-2022.....	43
Figura 4.17: Proceso general de Electrificación Rural	44
Figura 4.18: Uso doméstico de electricidad en zonas rurales	47
Figura 4.19: Uso comunitario de la electricidad en zonas rurales	48
Figura 4.20: Uso de productivo de la electricidad en zonas rurales.	48

Figura 4.21: Consumo (Watts) de artefactos eléctrico.....	48
Figura 4.22: Consumo por equipo por hora para una vivienda con refrigeradora.	50
Figura 4.23: Consumo típico horario para vivienda con refrigeradora.....	51
Figura 4.24: Consumo típico horario para vivienda sin refrigeradora.	51
Figura 4.25: Consumo típico horario para tienda.	52
Figura 4.26: Consumo típico horario para hospedaje.	52
Figura 4.27: Consumo típico horario para escuela.	53
Figura 4.28: Consumo típico horario para comisaria.....	53
Figura 4.29: Consumo típico horario para iglesia.....	54
Figura 4.30: Consumo típico horario para centro de salud.....	54
Figura 4.31: Consumo típico horario para alumbrado público.	55
Figura 4.32: Curva típica de demanda por tipo de vivienda	55
Figura 4.33: Evaluación Técnica (As Is)	57
Figura 4.34: Evaluación Técnica (To Be).....	58
Figura 4.35: Diseñar Sistema Híbrido	59
Figura 4.36: Evaluación Económica	61
Figura 4.37: Inversión privada - Costos involucrados	62
Figura 4.38: Inversión social - Costos involucrados.....	63
Figura 4.39: Beneficios económicos de la electricidad en una evaluación social.	64
Figura 5.1: Ubicación de la Colonia Angamos	66
Figura 5.2: Colonia Angamos – Zona de Concesión de Electro Oriente.....	68
Figura 5.3: Colonia Angamos – Demanda en un día típico para el 2019	69
Figura 5.4: Colonia Angamos – Demanda (kW) hasta el 2029.	70
Figura 5.5: Caso 1 - Demanda	71
Figura 5.6: Caso 1- Dimensionamiento de la GT (HOMER).	72
Figura 5.7: Caso 1- Operación de la GT (HOMER).	72
Figura 5.8: Caso 2- Demanda.	74
Figura 5.9: Caso 2- Dimensionamiento de la PV (HOMER).	74
Figura 5.10: Caso 2- Operación del sistema (HOMER).	75
Figura 5.11: Caso 2- Operación de la GT (HOMER).	75
Figura 5.12: Caso 3 - Irradiación solar	77
Figura 5.13: Caso 3 – Dimensionamiento (HOMER)	78
Figura 5.14: Caso 3 – Demanda (HOMER).....	78
Figura 5.15: Caso 3 – Datos de los Generadores	79
Figura 5.16: Caso 3 – Optimización (HOMER)	79
Figura 5.17: Caso 3 – Dimensionamiento categorizado	80

Figura 5.18: Caso 3- Operación del sistema (HOMER).....	81
Figura 5.19: Caso 3- Operación de la GT (HOMER).....	81
Figura 5.20: Caso 3 – Capex privado y social.	82
Figura 5.21: Caso 3 - Costos privados	82
Figura 5.22: Caso 3 - Beneficios privados.....	83
Figura 5.23: Caso 3 - Costo Social	83
Figura 5.24: Caso 3 - Beneficio Social	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Términos básicos de electricidad	13
Tabla 3.1: Acceso a la electricidad en el Mundo	24
Tabla 3.2: Loreto – Electrificación por viviendas.....	29
Tabla 3.3: Loreto – Electrificación por provincias	30
Tabla 4.1: Tipos de usuarios	49
Tabla 4.2: Tipos de equipos eléctricos.....	50
Tabla 4.3: PNER 2016 - 2025 -Inversiones	57
Tabla 5.1: Colonia Angamos - Detalle de viviendas	67
Tabla 5.2: Colonia Angamos - Detalle del sistema eléctrico existente.....	67
Tabla 5.3: Colonia Angamos – Energía (kWh) horaria por usuario.....	69
Tabla 5.4: Colonia Angamos – Proyección de la Demanda (viviendas)	70
Tabla 5.5: Caso 1 – Rentabilidad Invierte.pe.....	71
Tabla 5.6: Caso 1 – Evaluación Económica	73
Tabla 5.7: Caso 2 – Evaluación Económica	76
Tabla 5.8: Caso 3 – Evaluación Económica	83
Tabla 5.9: Colonia Angamos – Escenario privado	84
Tabla 5.10: Colonia Angamos – Escenario social	84
Tabla 5.11: Colonia Angamos – Escenario social con financiamiento.....	84

ROCIO PAMELA BENITO MISARAY

Profesional con más de 8 años de experiencia laboral en gestión de proyectos, análisis, desarrollo, e implementación de sistemas en las áreas de Administración y Finanzas, Contabilidad, Ventas, Marketing. Orientada al logro de resultados, a la optimización de procesos y a la rentabilidad de la organización. Experiencia en empresas locales y transnacionales.

FORMACIÓN

- 2017-2019 Maestro en Administración de Negocios (MBA)
Escuela de Administración de Negocios para Graduados- ESAN
- 2015 Especialización y Certificación en SAP ABAP (Centro Gold SAP
Education Partner)
- 2013 Especialización en SAP FI (Centro Gold SAP Education Partner)
- 2008-2013 Ingeniería de Sistemas e Informática (Universidad Alas Peruanas)

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Coordinadora de Proyectos TI **Abril 2016 – Presente**
Bbraun Medical Perú

- Encargada del seguimiento, control, medición e implementación de los proyectos de TI así como de la planificación del cronograma del trabajo y asignación de las funciones al equipo que se encargará de cada proyecto.
- Velar que los sistemas de información así como los nuevos requerimientos estén alineados y apoyen a los objetivos estratégicos de la empresa.
- Comunicación y coordinación con usuarios de todos los niveles para atender y canalizar sus requerimientos de TI.
- Análisis, evaluación de proveedores de sistemas de software.

Analista Programador Senior **Enero 2014 – Abril 2016**
Bbraun Medical Perú

- Encargada del análisis, desarrollo, implementación y mejoras de todos los sistemas.
- Proponer nuevas mejoras a nivel de TI en los procesos de las diferentes áreas.
- Brindar capacitación en el uso de herramientas de TI a los usuarios finales según plan de capacitación anual.

- Responsable a segundo nivel de la administración de servidores y administración del área de IT.

**Analista Programador de Sistemas
Perfumerías Unidas**

Enero 2013 - Enero 2014

- Responsable del desarrollo, generación de los libros impresos y electrónicos para el envío a SUNAT
- Desarrollo de soluciones TI según las especificaciones dadas por el usuario final.
- Análisis en el desarrollo de nuevos proyectos, realizando entrevistas a proveedores, cuadros comparativos, análisis costo/beneficio para determinar la mejor decisión según lo requerido por la empresa.

JOSÉ WILFREDO HUANACHÍN OSORIO

Graduado en Comunicación Social, con estudios superiores en el extranjero en las áreas de Periodismo y Comunicación Organizacional. Estudios concluidos de Maestría en Administración de Empresas.

Experiencia de más de 14 años en medios de comunicación escrita con especialización en temas económicos y financieros; así como trayectoria en empresas radiales, audiovisuales y en proyectos de comunicación institucional.

Conocimientos en Administración de Negocios, Economía, Finanzas Corporativas y Contabilidad Técnica. Dominio en la redacción de idioma Español. Manejo de idioma Portugués oral y escrito; Inglés (nivel intermedio); Computación (Entorno Windows) y Fotografía.

FORMACIÓN

2017-2019	Maestro en Administración de Negocios (MBA) Escuela de Administración de Negocios para Graduados- ESAN
1997-2000	Especialización Escuela Académico Profesional de Comunicación Social Especialidad de Comunicación Organizacional Universidad Nacional Mayor de San Marcos
1995-1996	Escola de Comunicação Social – Jornalismo Programa Estudantes Convênio (PEC-G) VITEM IV Universidade Federal de Goiás – BRASIL
1994	Facultad de Letras y Ciencias Humanas Universidad Nacional Mayor de San Marcos

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Analista de Negocios **Abril 2017 - Presente**
Editora El Comercio – Grupo El Comercio - Diario GESTIÓN
Cobertura de comisiones en temas empresariales dentro de la sección Negocios del periódico, atendiendo a un conjunto de 16,000 suscriptores. También se apoya en notas especializadas para el suplemento Minera y se elabora artículos en la plataforma digital Gestion.pe, apuntando atender a un conglomerado de 2 millones de visitas virtuales al mes.

Redactor Senior Negocios

Marzo 2007 – Abril 2017

Prensa Popular – Grupo El Comercio - Diario GESTIÓN

Cobertura de comisiones en temas empresariales dentro de la sección Negocios del periódico, suplemento Minera y página web de Gestión. Monitoreo periódico a empresas que se encuentran en situación de conflicto social o empresarial del sector minero metalúrgico, petróleo y gas pesca; electricidad. Apoyo en segmento video para la página web Gestión.pe

Redactor de Negocios

Junio 2005- Marzo 2007

Corporación Gestión - Diario GESTIÓN

Funciones y Actividades: Cobertura de comisiones en temas empresariales dentro de la sección Negocios del periódico, en noticias de negocios relacionadas a las áreas de tecnología, agricultura, sector forestal, recursos humanos e industrias extractivas.

Redactor y Corrector de Estilo

Mayo 2002-Diciembre

2003 Diario SÍNTESIS

Apoyo en las comisiones delegadas por Diario Síntesis dentro de las secciones Actualidad, Negocios, Legal, Marketing, Sumas y Restas; con participación en entrevistas y reportes especiales al interior del país (Arequipa, La Oroya). Cobertura en reportes de área empresarial, marketing. Apoyo en proceso de pre-prensa y mejora de estilo.

Redactor de Noticias – Área de Servicios Periodísticos

Marzo-Mayo 2002

Diario EL COMERCIO

Participación en comisiones delegadas dentro de la sección Economía y Negocios. Facilitación en actividades dentro de la sección, con cobertura en espacios Datos de la Calle, Piqueo Empresarial, Tema del Día, y Becas y Seminarios.

JORGE ISAAC RODRIGUEZ RODRIGUEZ

Gerente de línea (área de Proyectos) en Electro Oriente S.A. Trece años de experiencia en el sector de sistemas de potencia, cinco de los cuales fueron dedicados a la realización de investigación aplicada (proyectos que envuelven estudios y desarrollo de software técnico) para empresas brasileñas. Acostumbrado a trabajar en equipos multi-disciplinarios. Sólidos conocimientos de inteligencia computacional, optimización, teoría de control, modelado matemático, simulación y tecnologías de información aplicadas a sistemas de potencia. Completo dominio del español, portugués y dominio intermedio del inglés. Disponibilidad para residir y viajar dentro del Perú.

FORMACIÓN

- 2017-2019 Maestro en Administración de Negocios (MBA)
Escuela de Administración de Negocios para Graduados- ESAN
- 2013-2017 DOCTORADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA (INCOMPLETO).
Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE / UFRJ), Brasil.
- 2003-2005 MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA. Universidade Federal do
Maranhão (UFMA), Brasil
- 2001-2002 MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS. Universidad Nacional
de Ingeniería (UNI), Perú.
- 1993-2000 GRADUACIÓN EN INGENIERÍA ELÉCTRICA. Universidad
Nacional de Ingeniería (UNI), Perú.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Gerente del área de Proyectos **2019 - Actualidad**
ELECTRO ORIENTE S.A. (ELOR), Perú

- Liderazgo y coordinación para la formulación de una cartera de 95 iniciativas, totalizando un presupuesto referencial de S/.180 MM.
- Ejecución y control de una cartera de 27 proyectos de proyectos, totalizando un presupuesto de S/. 110 MM.

Gestor de proyectos **2013 – 2019**
Red de Energía del Perú (ISA-REP), Perú

- Gestor en la ampliación de 7 subestaciones existentes (220/60 kV), totalizando una inversión de USD 34 MM (2018 – Actualidad).
- Soporte como “Oficina de Gestión de Proyectos” (PMO) de REP, totalizando una inversión de USD 750 MM (2017 - 2017).
- Gestor en el desarrollo del “Software para la Gestión de Proyectos de REP”-SGPREP (2013 - 2016).
- Gestor en la construcción de 2 nuevas subestaciones (220/60 kV 50 MVA) y 1 nueva línea de transmisión (220 kV, 100 Km), totalizando una inversión de USD 75 MM (2014 - 2016).
- Ingeniero de Proyectos de infraestructura totalizando USD 50 MM (2013 - 2014).

Profesor Asistente (FIEE).

2013-2019

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Perú

- EE445 - Proyecto de Fin de Carrera (Pregrado: 2018 - 2019).
- EE347 - Electrificación Rural (Pregrado: 2017 - 2019).
- EE386 - Evaluación de Proyectos (Pregrado: 2017 - 2018).
- EE59 - Estabilidad de Tensión (Maestría: 2013 - 2015).
- EE315 - Centrales Eléctricas I (Pregrado: 2013 - 2016).
- EE316 - Centrales Eléctricas II (Pregrado: 2013 - 2016).

Ingeniero de proyectos.

2011-2013

GT2 Energia, Brasil

- Coordinador del desarrollo del componente eléctrico del Sistema para Entrenamiento de Operadores (OTS) de centrales de ciclo combinado. Software financiado por la empresa de generación UTENF.
- Desarrollo del emulador de un Sistema de Control Distribuido (DCS) para plantas industriales

Investigador de doctorado (Beca).

2007-2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (COPPE), Brasil

- I+D (R&D) de software técnico para estimación de estado para el sistema eléctrico de refinerías de petróleo. Software financiado por la PETROBRAS.
- I+D de software técnico para simulación híbrida (trifásica / monofásica) de sistemas de transmisión / distribución. I+D de software técnico para simulación de

sistemas de distribución con generación distribuida. Softwares financiados por la empresa de distribución LIGHT

Investigador de maestría (Beca). 2004-2005.
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Brasil

- I+D de software multiplataforma para simulación y entrenamiento de operadores de centros de control. Software parcialmente financiado por la empresa de generación ELETRONORTE.
- I+D de software geo-referenciado para cálculo del Valor Nuevo de Reemplazo. Software parcialmente financiado por la empresa de distribución CEMAR.

Ingeniero Electricista 2000 – 2002
SERVITECH INGENIEROS SRL, Perú

- Coordinador del re-diseño de software geo-referenciado para gerenciamiento de procesos de Calidad de Energía (Producto) según la NTCSE. Financiado por la empresa de distribución LUZ DEL SUR.

Practicante de Ingeniería Eléctrica 1998 – 2000
SERVITECH INGENIEROS SRL, Perú

- Desarrollo de hojas de cálculo para implantación de procesos (registro de mediciones, cálculo de compensaciones, etc.) relativos a Calidad de Energía (Producto) según la NTCSE en las empresas de generación AGUAYTIA, CAHUA, EDEGEL, EEPSA, EGENOR, ELECTROPERU y ETEVENSA.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Amperio	Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica que corresponde al paso de un culombio por segundo. Su abreviatura es la letra A
Capacitancia	Es la propiedad de un componente o circuito para recoger y almacenar energía en forma de carga eléctrica. El dispositivo más común que almacena energía de esta forma es el condensador. La unidad de medida de la capacidad eléctrica (C) es el Faradio
CEPLAN	Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. Organismo técnico especializado que ejerce la función de órgano rector, orientador y de coordinación del Sistema Nacional de Planeamiento Estratégico
Centro poblado	Lugar del territorio nacional rural o urbano, identificado mediante un nombre y habitado con ánimo de permanencia. Sus habitantes se encuentran vinculados por intereses comunes de carácter económico, social, cultural e histórico. Estos centros poblados tienen categorías como caseríos, pueblos, villa, ciudad y metrópoli
Centro poblado urbano	Aquellos lugares que tienen como mínimo cien viviendas agrupadas contiguamente, formando manzanas y calles, por lo general están conformados por uno o más núcleos urbanos. Cuando cuentan con más de cinco mil habitantes se les denomina ciudad, cumple una función urbana en la organización del territorio y goza de un equipamiento urbano básico
Centro poblado rural	Aquellos lugares que no tienen cien viviendas agrupadas contiguamente o teniendo más de cien viviendas estas se encuentran dispersas o diseminadas sin formar bloques o núcleos
Centro urbano informal	Asentamiento humano surgido sobre la ocupación de hecho de terrenos rústicos que se encuentran en los centros poblados urbanos
Centro urbano irregular	Asentamiento humano cuyo origen, sin llegar a ser la invasión de tierras, se sustenta en la subdivisión, urbanización y venta clandestina de terrenos rústicos, por parte de sus propietarios
Condensador eléctrico	Dispositivo usado para almacenar carga eléctrica en forma de campo eléctrico. Es clasificado como un componente pasivo de un circuito eléctrico, ya que no tiene capacidad de amplificar o cortar el flujo eléctrico. También es llamado de capacitor
Corriente eléctrica	Es el movimiento ordenado de cargas libres, normalmente de electrones, a través de un material conductor en un circuito eléctrico. En este movimiento se distinguen a la corriente alterna (CA, o AC en inglés) y continua (CC, o DC en inglés)
Corriente alterna	Denominado al movimiento de electrones que cambia de sentido cada cierto tiempo. Utilizan corriente alterna todos los aparatos que se enchufan directamente a la red. Se les abrevia con las iniciales CA
Corriente continua	Movimiento de electrones que se produce en un mismo sentido. Este tipo de corriente es utilizado los aparatos que funcionan con pilas o baterías. También aquellos aparatos que están conectados a una fuente de alimentación. Se le denomina con las iniciales CC

DGER	Dirección General de Electrificación Rural. Es una Dirección dependiente del Viceministerio de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas, que tiene la competencia en materia de electrificación rural en la ampliación de la frontera eléctrica en el país, a través de tecnologías y programas de acción. Tiene a su cargo dos direcciones: Dirección de Proyectos y Dirección de Fondos Concursables
Distribución eléctrica	Sistema de suministro eléctrico desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales. Comprende subestación de distribución, circuito primario y secundario
Electricidad	Conjunto de fenómenos producidos por el movimiento e interacción entre cargas eléctricas positivas y negativos de cuerpos físicos
Electrificación rural	Es el proceso mediante el cual los centros poblados rurales incrementan el grado de disponibilidad, acceso y aceptación de la energía eléctrica necesaria para una mejor calidad de vida. La electrificación rural está restringida a uso de la electricidad
Electrificación	Acción y efecto de electrificar. Hacer que algo funcione por medio de la electricidad. Se aplica a la extensión de la red eléctrica a zonas donde antes no llegaba
Energía	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz o calor. En el caso de la energía eléctrica, es la cantidad de potencia entregada o utilizada en un intervalo de tiempo. La medida de la energía eléctrica se hace a través de Vatios (Watts) por hora (Wh)
Energía solar	Es el aprovechamiento de la energía que proviene del Sol. Con el empleo de paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Con el empleo de colectores La energía solar puede transformarse en energía térmica.
Energía eólica	Tipo de energía que se obtiene del viento, aprovechando la energía cinética de las masas de aire para que sea convertido en energía mecánica y a partir de ahí generar electricidad.
Energía fotovoltaica	Es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Mediante paneles fotovoltaicos, se genera una diferencia de potencial.
Evaluación económica	Es una manera de medir y comparar los beneficios de los recursos y sus ecosistemas. Mediante este método se trata de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios obtenidos a partir de los recursos ambientales, independientemente de que se disponga valores de mercado
Evaluación privada	Análisis de la rentabilidad del proyecto desde el punto de vista del inversionista privado
Evaluación social	Medición de la contribución de los proyectos de inversión al nivel de bienestar de la sociedad
Evaluación técnica	Medición del estado técnico en el que se encuentra una instalación en su conjunto, y en cada uno de los equipos y sistemas que lo componen. Evalúa el estado de una instalación industrial después de finalizada la construcción, la degradación del mismo o la posibilidad de un incidente.

FISE	Fondo de Inclusión Social Energético. Es un mecanismo de política de inclusión social del Estado que apunta a expandir la frontera energética en segmentos vulnerables de la población. En el caso de electrificación rural, este fondo apunta al desarrollo de nuevos suministros en la frontera energética focalizados en las zonas más vulnerables
FOSE	Fondo de Compensación Social Eléctrica. Es un fondo dirigido a favorecer el acceso y permanencia del servicio eléctrico a los usuarios cuyos consumos mensuales sean menores a 100 kilovatios hora por mes dentro de la opción tarifaria BT5, residencial o aquella que sea sustituida.
Frecuencia eléctrica	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo. En la corriente eléctrica, la frecuencia es un fenómeno físico que se repite de manera cíclica un número determinado de veces durante un segundo de tiempo. Su unidad de medida es el Hertz (Hz)
Hertz (Hz)	Unidad de medida de frecuencia que representa un ciclo por cada segundo, entendiendo ciclo como la repetición de un suceso. Medición de la cantidad de veces por un segundo que se repite una onda sonora o electromagnética
Generación eléctrica	Es la transformación de alguna clase de energía (química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar, entre otras), en energía eléctrica
Generación distribuida	Es el tipo de generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía en lugares lo más cercano posible a las cargas. Es la generación que se conecta a la red de distribución de energía y se encuentra instalada en puntos cercanos al consumo.
Inductancia	Medida de oposición a un cambio de un inductor o bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético. Se abrevia con la letra L
INCORE	Índice de Competitividad Regional. Es un Índice elaborado por el Instituto Peruano de Economía (IPE) que cuantifica la posición relativa de las 25 regiones del país a través de seis pilares de competitividad: Entorno Económico, Infraestructura, Salud, Educación, Laboral e Instituciones. Se compone de 40 indicadores agrupados en los seis pilares mencionados, construido con últimos datos disponibles de fuentes oficiales
IBE	Institute of Business Ethics
IPE	Instituto Peruano de Economía. Es una institución privada sin fines de lucro, cuyas actividades se enfocan en proponer medidas de política económica y alternativas de solución a las reformas inconclusas
IEA	International Energy Agency, o la Agencia Internacional de la Energía. Organización internacional creada por la Organización por Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que busca coordinar las políticas energéticas de sus Estados miembros para asegurar energía confiable, adquirible y limpia a sus respectivos habitantes.

I+D	Investigación y Desarrollo
Impedancia	Medida de oposición que presenta un circuito eléctrico a una corriente eléctrica cuando se aplica una tensión. Se utiliza para cuantificar la propiedad de los conductores de impedir el flujo de corriente. Es una función dependiente de la resistencia, la inductancia y la capacitancia
Medidor inteligente	Dispositivo contador avanzado de electricidad que calcula el consumo a través de lecturas diarias o por minutos. Tiene la capacidad de notificar a la compañía de electricidad que la opera sobre incidentes ocurridos respecto al suministro eléctrico, así como a su estado físico (manipulación, robo del servicio) de manera remota y automática
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas. Es un Organismo del Poder Ejecutivo encargado de planear, dirigir y controlar los asuntos relativos a presupuesto, tesorería, endeudamiento, contabilidad, política fiscal, inversión pública y política económica y social del país
MEM	Ministerio de Energía y Minas. Es un Organismo central y rector del sector Energía y Minas y forma parte integrante del Poder Ejecutivo. Formula y evalúa las políticas de alcance nacional en materia de desarrollo sostenible de las actividades minero – energéticas. También es la autoridad competente en asuntos ambientales referidos a las actividades minero energéticas
PRODUCE	Ministerio de la Producción. Es un Organismo del Poder Ejecutivo encargado en diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial aplicable a los sectores de pesquería y de mediana y pequeña empresa; e industria.
Núcleo urbano	Asentamiento poblacional ubicado al interior de un centro poblado urbano, constituido por una o más manzanas contiguas, conocidas localmente por un nombre establecido en el proceso de crecimiento urbano, cuyas viviendas en su mayoría fueron construidas en un mismo periodo de tiempo y su población, por lo general posee características homogéneas
Panel fotovoltaico	Es un sistema integrado por módulos de celdas que transforman la radiación solar en corriente eléctrica. Es un tipo de panel solar diseñado para aprovechar la energía solar fotovoltaica. Se utilizan en aplicaciones domésticas o comerciales
PNMGP	Planeamiento Estratégico en el Marco de la Modernización de la Gestión Pública
Políticas públicas	Son acciones del gobierno que buscan en cómo dar respuestas a las diversas demandas de la sociedad. Se entiende como el uso estratégico de recursos para aliviar los problemas nacionales
Potencia	Representa la variación de trabajo o energía con respecto al tiempo. En el caso de la potencia eléctrica, es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un determinado momento. La potencia se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio o Watt (W)
PBI	Producto Bruto Interno. Es un indicador que ayuda a medir el crecimiento de la producción de empresas de cada país dentro de

	un territorio, y refleja la competitividad de las empresas.
Red primaria	Parte de la red de distribución eléctrica compuesta por líneas aéreas o subterráneas de media tensión (MT) de 45 kV, 66 kV o 132 kV, y se utilizan para alimentar la red secundaria o para consumo industrial
Red secundaria	Parte de la red de distribución eléctrica compuesta por líneas aéreas o subestaciones de distribución de 15 kV, 20 kV, centros de transformación de media tensión a baja tensión (MT/BT), y líneas aéreas o subterráneas de baja tensión (B/T)
Rentabilidad	Beneficio obtenido de una inversión. Se mide como el ratio de ganancias o pérdidas obtenidas sobre la cantidad invertida. Normalmente se expresa en porcentaje.
Responsabilidad Social	Término referido a la carga, compromiso u obligación de los miembros de una sociedad, ya sea como individuos o como miembros de algún grupo.
Resistencia eléctrica	Referido a la oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor. Se abrevia con la letra R. La unidad de resistencia es el Ohmio
Servicio público	Actividad técnica, directa o indirecta, de la administración pública activa o autorizada a los particulares, creada y controlada para asegurar la satisfacción de una necesidad colectiva de interés general.
SEE	Sistema Eléctrico de Energía. Es el conjunto de elementos que operan de forma coordinada en un determinado territorio para satisfacer la demanda de energía de los consumidores. Se clasifican en plantas de generación, líneas de transporte de energía eléctrica de alta tensión, estaciones transformadoras (subestaciones), líneas de distribución de media y baja tensión y centros de control eléctrico
Sistemas fotovoltaicos	Conjunto de elementos que se compone de un generador solar, un acumulador, un regulador de carga y un inversor, con el cual se produce energía eléctrica. Se tienen tres tipos de sistemas fotovoltaicos que son los sistemas conectados a red, los sistemas híbridos o con respaldo de la red y los sistemas off grid autónomos.
Sistema off grid	Es un sistema fotovoltaico de autoabastecimiento independiente de la red eléctrica. Produce energía por paneles solares y es almacenada en baterías
Sistema on grid	Es un sistema fotovoltaico que depende de la red eléctrica y su consumo sigue siendo suministrado por esa fuente
TIC	Tecnologías de información y Comunicaciones
Vatio	Unidad de medida que se emplea en las mediciones de potencia y resulta equivalente a un julio por segundo. Es el sinónimo del vocablo inglés Watt y se emplea con el símbolo W.
Voltaje	Denominado también como tensión o diferencial de potencial, es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico, provocando el flujo de una corriente eléctrica.
Zona urbano	Núcleo urbano caracterizado por presentar altos niveles de

marginal	pobreza monetaria y no monetaria y carecer, total o parcialmente, de servicios de infraestructura y de servicios de equipamiento
Zona rural	Área que no tiene más de 100 viviendas agrupadas contiguamente ni es capital de distrito; o que teniendo más de 100 viviendas, estas se encuentran disgregadas sin formar bloques.
Zona urbana	Aquella área que tiene como mínimo 100 viviendas agrupadas contiguamente (en promedio 500 habitantes). Por excepción se incluyen a todos los centros poblados capitales de distrito, aún cuando no reúnan la condición indicada

RESUMEN EJECUTIVO

En el mundo, durante el año 2011, aún existían más de 1250 millones de personas sin acceso a la electricidad, teniéndose un coeficiente de electrificación urbana mundial de 93.7%, y un índice de electrificación rural de 69.0%. Esta realidad no es ajena al Perú, ya que hasta el año 2018 existían 424,000 viviendas sin acceso a la electricidad, llegando solo a un nivel de electrificación nivel país de 88%.

El objetivo de electrificar a comunidades rurales no debe significar solo llevar electricidad, sino electrificar y que ésta sea sostenible en el tiempo. Por tal motivo se torna necesario explorar los recientes avances tecnológicos que puedan permitir atender la demanda eléctrica, optimizando costos, brindando un adecuado nivel de calidad y siendo responsables con el medio ambiente. En base a toda la literatura especializada revisada, en los últimos 100 años la mayor transformación en el sector de Electricidad se está realizando por avances tecnológicos que están enmarcados dentro del concepto de “Smart Grid”, con lo cual torna a este concepto atractivo para ser analizado en pro de buscar una solución sostenible para la electrificación rural

En este sentido, la presente Tesis tiene como objetivo principal determinar qué tecnologías, dentro del concepto de Smart Grid, pueden ser candidatas a ser utilizadas dentro del corto plazo en los proyectos de electrificación rural en el Perú.

En el análisis para seleccionar una región del Perú con bajo índice de electrificación rural, Loreto demostró ser un departamento adecuado para la validación de la metodología propuesta debido a:

- Tiene la menor cobertura de electricidad.
- Mayor precio de electricidad para el consumidor.
- Puesto 23 (de 25) en el índice de competitividad y puesto 22 (de 25) en el índice de pobreza.
- Única región no interconectada al sistema eléctrico nacional (SEIN).

Se determinó la brecha existente de la región Loreto:

- Solo el 14.8% de todas las viviendas se encuentra dentro de la zona de concesión de la empresa Electro Oriente (lo cual les garantiza el acceso a la electricidad con un mínimo de calidad).

- El 49.5 % accede a la electricidad mediante la construcción de redes por parte del gobierno local o regional, las cuales generalmente no cumplen los requerimientos técnicos mínimos para su operación, proveyendo un servicio eléctrico de inadecuada calidad
- El 35.7% de las viviendas en Loreto no cuentan con acceso a la electricidad

La revisión bibliográfica de la literatura especializada mundial determinó que las tecnologías presentes en los sistemas híbridos (el cual hace del concepto de SMART GRID), pueden contribuir en el corto plazo en la minimización de brechas de electrificación rural. De acuerdo al análisis, la tecnología en el corto plazo que puede ser utilizada dentro del proceso de electrificación rural es la Mini-Grid (sistemas híbridos)

La metodología planteada para la selección de alternativas de electrificación de comunidades rurales, es una modificación de la metodología existente. El principal cambio consiste en la inclusión de los sistemas híbridos como una alternativa adicional a las existentes. Esta inclusión requirió que en el proceso de diseño se considere la optimización del dimensionamiento de cada una de las fuentes de energía de forma que combinadas abastezcan la demanda en todo el horizonte de estudio.

Se efectuó la comparación de 3 casos analizados para la Colonia Angamos. Los 3 casos fueron diseñados utilizando el HOMER y evaluados con la misma hoja de cálculo económica.

- El primer caso es una reproducción de un proyecto existente en el Invierte.pe que plantea el reemplazo de la Central Térmica existente para suministrar electricidad por 5 horas.
- El segundo caso es el planteamiento de atender la demanda por 24 horas utilizando solo energía solar, pero con un grupo térmico pequeño para emergencias.
- El tercer caso, resultado de la aplicación de la metodología planteada, es atender la demanda por 24 horas utilizando una combinación de fuentes de energía (solar, batería, conversor y térmica).

Los parámetros de comparación son el VAN y TIR, y los escenarios de comparación son el privado, el social y el social con financiamiento gubernamental.

La comparación de resultados demuestra que la mejor opción se obtiene siguiendo la metodología planteada.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Según IEA (2013), hasta el año 2011, en el mundo aún existían más de 1250 millones de personas sin acceso a la electricidad, teniéndose un coeficiente de electrificación urbana de 93.7%, y un índice de electrificación rural de 69.0%. Esta realidad no ha cambiado mucho; hasta el año 2018 este número aún supera los 1000 millones de personas (WorldBank, 2019). Debido a esto, según Mandelli, Barbieri, Mereu y Colombo (2016) existe un gran interés académico en la formulación de propuestas que ayuden a mejorar los índices recientemente descritos.

El Perú no es ajeno al problema mundial recientemente descrito. Según Anaya (2016), hasta el 2015 el coeficiente de electrificación urbana era de 93%, mientras que el coeficiente de electrificación rural era de 78%. En el caso rural, el índice sería menor si se considerase dentro de su cálculo a los usuarios rurales con acceso a la electricidad con bajos estándares de calidad. Según la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (1999), la electricidad suministrada debe cumplir con unos estándares mínimos que básicamente garantizan; (i) un suministro continuo (24 horas) con mínimas interrupciones, (ii) variables eléctricas dentro de límites que minimicen la ocurrencia de problemas, (iii) atención adecuada a los clientes, y (iv) adecuado alumbrado público.

Dado que el acceso a la electricidad es un derecho universal, el Estado Peruano está en la obligación de incluir dentro de sus políticas públicas mecanismos que fomenten el cierre de las brechas de electrificación. Estas políticas públicas se establecen a través del cambio del marco jurídico nacional, así como también a través de algunas estrategias formuladas por los diferentes organismos del sector público.

El actual marco normativo del sector eléctrico peruano establece la formación de un mercado eléctrico en el que la rentabilidad proyectada en la atención de las áreas urbanas y rurales debe ser lo suficientemente atractiva para la inversión privada. Este mercado permite al inversionista actuar sobre un área (geográfica) de concesión por un largo plazo y de forma monopólica; siendo responsable por la construcción, operación y mantenimiento de todas las instalaciones de distribución eléctrica

necesarias; facturando a todos los habitantes del área de concesión en función a su consumo de electricidad a una tarifa unitaria fijada por un organismo público, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). La facturación cubre todos los costos (inversión, operación y mantenimiento) para todo el periodo de concesión, ofreciendo así sostenibilidad al negocio. Este mercado funciona bien en el caso de áreas urbanas, pero es ineficiente en el caso de áreas rurales.

En el caso de áreas rurales, la distancia de los centros poblados a las grandes troncales de transmisión eléctrica, sumado a la dispersidad geográfica de las viviendas en la localidad y a los bajos consumos estimados de los habitantes; obligaría a tener una tarifa unitaria excesivamente alta (comparada con la tarifa urbana) para cubrir los costos de inversión, operación y mantenimiento; inviabilizando el caso de negocio. Debido a esto, el Estado Peruano ha creado organismos dedicados para la atención de este problema (Dirección General de Electrificación Rural, ADINELSA, etc.), así como ha establecido diversos mecanismos de subvención, lo cuales en conjunto se han mostrado importantes, pero también insuficientes para cerrar la brecha existente en electrificación rural. Con la finalidad de la obtención de mejores resultados, el Estado debería trabajar en conjunto con las instituciones académicas y privadas, y así efectuar propuestas que viabilicen proyectos que tengan como consecuencia la mejora del índice de electrificación rural.

De acuerdo al Plan Nacional de Electrificación Rural (2016), los proyectos considerados para la electrificación rural son priorizados de mayor a menor viabilidad. Debido a esto, la brecha existente es la más compleja de ser atendida. Mientras que en el 2003 la inversión promedio para la electrificación de una vivienda rural ascendía a USD 710, en el 2014 este valor ya ascendía a USD 2103, siendo un valor con tendencia cada vez más ascendente. De acuerdo a consultas realizadas al MEM aún existen 424 mil viviendas sin servicio eléctrico. En caso que no se optase por soluciones diferentes a las tradicionales, esto significaría que para cerrar la brecha se requeriría una inversión de aproximadamente USD 892 millones.

La realidad rural peruana, recientemente descrita, tiene características similares a realidades existentes en países de África (Azimoh, Klintenberg, Wallina, Karlsson y Mbohwb, 2016) (Moner-Girona et al., 2016), así como en países de Asia (Bhattacharyya y Palitb, 2016) (Kumar et al., 2018) (Comello, Reichelstein, Sahoo,

Schmidt, 2017), entre otros. Dentro de la literatura especializada, cada una de las propuestas planteadas busca que la solución analizada no solo lleve electricidad a las comunidades, sino también que el acceso al servicio eléctrico sea sostenible en el tiempo. Para esto se torna necesario explorar los recientes avances tecnológicos que posibiliten abaratar los costos (sean de inversión, operación y /o mantenimiento), así como las posibles modificaciones regulatorias que minimicen también algunos de estos costos. En el mundo, la mayor transformación en el sector de Electricidad de los últimos 100 años se está realizando por los avances tecnológicos enmarcados dentro del concepto de “Smart Grid” (Martin, Starace y Pascal, 2017), lo cual torna a este concepto atractivo para ser analizado en búsqueda de una solución sostenible para la electrificación rural.

Actualmente, el concepto de “Smart Grid” es utilizado más como un término de marketing en lugar que una definición técnica (IEC, 2018) (EPRI, 2009) (EPRI, 2011). El entendimiento general es que Smart Grid es una red eléctrica con una alta integración de computación, telecomunicaciones, sensores / medidores y tecnologías de automatización para incrementar su capacidad de lidiar con un nuevo escenario de recursos de energías distribuidas, requerimientos de alta confiabilidad (redundancia), baja contaminación, así como nuevos mercados de energía (Falcao, 2018).

Esta tesis de investigación explorará las tecnologías existentes bajo el concepto de Smart Grid para que, en conjunto con tecnologías actualmente utilizadas, permitan proponer modificaciones que mejoren la selección de proyectos de electrificación rural, y por ende viabilicen una mayor cantidad de los mismos, consiguiendo el acceso de un mayor número de habitantes rurales a la electricidad con adecuados niveles de calidad.

1.2 Problema de Investigación

En la actualidad, en el Perú existen zonas rurales que no cuentan con electricidad o cuentan con una electricidad con bajo nivel de calidad.

1.3 Pregunta de Investigación

¿Cómo las tecnologías emergentes, englobadas dentro del concepto de Smart Grid, pueden ser utilizadas para mejorar la electrificación rural?

1.4 Objetivos de Investigación

A seguir se muestran el objetivo principal y los objetivos secundario de la presente tesis.

1.4.1 Objetivo principal

Determinar cuáles de las tecnologías, consideradas dentro del concepto de Smart Grid, son candidatas para ser utilizadas en el corto plazo en los proyectos de electrificación rural en el Perú, con un beneficio superior a las soluciones tradicionalmente empleadas.

1.4.2 Objetivos específicos

Entre los objetivos específicos tenemos:

- Seleccionar una región del Perú con bajo índice de electrificación rural, para probar la aplicabilidad de la propuesta que se desarrollará en la presente tesis.
- Determinar la brecha existente en la electrificación rural de la región seleccionada.
- Identificar las potenciales tecnologías, dentro del concepto de Smart Grid, que puedan ser utilizadas en la minimización de brechas de electrificación rural previamente determinadas.
- Proponer una metodología, para la selección de alternativas de electrificación rural, que considere las tecnologías previamente identificadas.
- Comparar, técnica y económicamente, la utilización de la metodología propuesta (en una comunidad real) versus la forma tradicional de selección de alternativas de proyectos de electrificación rural (actualmente empleada).

1.5 Alcances y limitaciones

La presente tesis no pretende resolver el problema planteado en su totalidad, se limita a analizar y proponer una mejora a una parte del proceso de electrificación rural denominada “Selección de la mejor alternativa de proyecto de inversión para la electrificación de una comunidad rural”.

Para la mejora del proceso se analizan tecnologías emergentes dentro del concepto de Smart Grid. No se evalúan tecnologías referentes a temas energéticos, sino solo temas eléctricos.

El análisis del problema, a detalle, se realiza solo en una región del Perú, seleccionada de forma que sea representativa para las demás regiones.

1.6 Justificación

La tesis de investigación es relevante ya que analiza un problema que afecta a más del 10% de habitantes de las zonas rurales en el Perú, proponiendo una nueva forma de selección entre alternativas de proyectos de inversión para la electrificación de comunidades rurales, que podría ser utilizada por diversos agentes.

Estas comunidades son las que históricamente han sido postergadas en los programas de electrificación rural debido a su elevada complejidad y la poca participación del Estado (Anaya, 2016).

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El marco teórico que fundamenta esta investigación, permite conocer los conceptos necesarios para entender el desarrollo de la presente tesis.

Tanto el Estado y sus diferentes entidades públicas que brindan el servicio de electricidad, como empresas constituidas necesitan tener una herramienta que les permitan ayudar a llegar a sus objetivos, controlar sus indicadores y priorizar sus esfuerzos. En este capítulo analizamos como la planeación estratégica supone una herramienta para comprender qué planes debemos tomar en cuenta para alcanzar dichas metas. Asimismo, el resolver estas las demandas ciudadanas mediante intervenciones del Estado, hace que éste implemente políticas públicas que incluyan programas, proyectos, inversiones y actividades que fomenten el desarrollo social y económico. En este capítulo entenderemos el concepto de políticas públicas se han implementado en el Perú referente a la electrificación.

En el mundo los países están empezando a implementar soluciones de electrificación mediante el uso de nuevas tecnologías como Smart Grid, adicionando una nueva alternativa de electrificación y con mejores beneficios a las diferentes alternativas existentes hasta la fecha. En este capítulo explicaremos como esta nueva tecnología es parte de las nuevas tendencias en electrificación.

2.2 Conceptos básicos de Gestión Pública

2.2.1 Políticas públicas

Considerando el enfoque de Álvarez (2011), el concepto de las Políticas Públicas dentro del ámbito de Gestión Pública es plantear mecanismos, acciones o medidas de solución que debe efectuar el Estado para cubrir las necesidades de la ciudadanía, principalmente relacionada a la provisión de servicios públicos (infraestructura, electricidad, agua, desagüe, salud, vivienda, seguridad ciudadana, entre otras exigencias), o la facilitación de servicios públicos que son operados por el sector privado (electricidad, telecomunicaciones, transporte).

El Estado es el principal agente que personifica la gestión de las Políticas Públicas, a través de intervenciones o políticas nacionales públicas. En Perú, el agente

encargado de esta función es el CEPLAN o Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, que desarrolla un Planeamiento Estratégico en el Marco de la Modernización de la Gestión Pública (CEPLAN, 2018).

Tras llevar a cabo políticas nacionales, estas después se subdividen en políticas sectoriales, los cuales son lineamientos específicos, supervisados por los ministerios y organismos descentralizados del Estado.

Estas políticas sectoriales, por su parte, presentan un conjunto de estrategias, objetivos y acciones que buscarán resolver las necesidades sociales específicas en su sector, atendiendo a un público objetivo y en plazos determinados según metas establecidas. Estas políticas sectoriales van modificándose a medida que se cumplan las proyecciones de determinado sector.

Para el caso puntual de las políticas de Electrificación Rural, estas tienen su origen en los planes sectoriales minero-energético del Ministerio de Energía y Minas, que están incorporados en el Plan Estratégico Institucional de MEM.

2.2.2 Estrategia y planificación estratégica

Definición de Estrategia

El término “Estrategia” proviene del griego “Strategos” que significa “Jefes del Ejército”. Como verbo o acción, el concepto de Estrategia tiene como idea “planificar la destrucción de los enemigos en razón del uso eficaz de los recursos”.

Para Mintzberg (2000) en palabras de Kenneth Andrews, considerado como el padre de la estrategia corporativa, éste define a la Estrategia como *“La representación de un patrón de objetivos, propósitos o metas que realiza una organización, así como las políticas y los planes principales para alcanzar dichas metas”*.

Definición de Planificación Estratégica

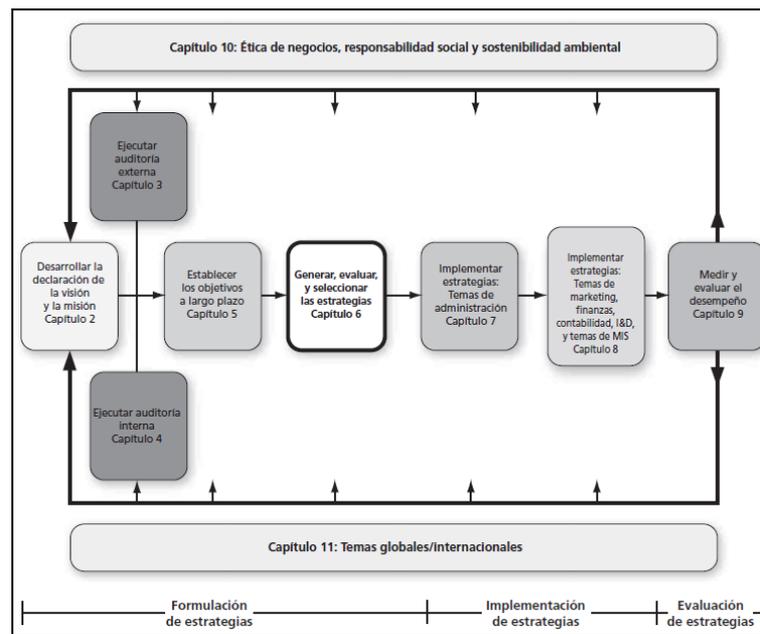
Según Amaya (2005), la planeación estratégica es el proceso en el que los dirigentes de una organización toman decisiones, y en consecuencia obtienen, procesan y analizan información externa como interna para la organización. Ello permite a los ejecutivos evaluar la situación actual de la organización, conocer su nivel de competitividad, así como prever y decidir sobre el rumbo de la institución hacia el futuro. Tanto los conceptos de estrategia y planeación estratégica están

ligados indisolublemente, puesto que ambos términos designan una secuencia de acciones metódicas y establecidas en el tiempo, de tal forma que se puede alcanzar uno o más de un objetivo.

Modelo conceptual de Planificación Estratégica de Fred R. David

Un modelo conceptual proporciona una relación visual de las relaciones entre objetos. Es la descripción de cómo se relacionan los conceptos en un problema.

En la figura 2.1., se presentan el modelo conceptual de Fred David que es uno de los más usados en el entorno de las empresas.



Fuente: (David, 2013)

Figura 2.1: Planeamiento Estratégico - Modelo de Fred David

En este modelo, Fred R. David plantea lo siguiente

- Primero, conocer acerca de la misión de la empresa: ¿Qué queremos llegar a ser?, ¿cuál es nuestro negocio?, cuáles son sus características, componentes y cómo se debe plantear.
- Segundo, plantea realizar una evaluación externa: Realizar una auditoría externa. Para ello, David (2013) recomienda seguir los siguientes pasos: Analizar las fuerzas económicas; las fuerzas sociales, culturales, demográficas y ambientales; revisar las fuerzas políticas, gubernamentales y legales; revisar las fuerzas tecnológicas; analizar las fuerzas competitivas, las fuentes de información externa; analizar la globalización y la industria (a través de la Matriz de evaluación del

factor externo: EFE); analizar la competencia (mediante una Matriz de perfil competitivo: MPC), entre otros.

- Tercero, plantea realizar una evaluación interna, a través de una auditoría interna. En este punto se debe recolectar y asimilar información sobre las operaciones de dirección, marketing, finanzas y contabilidad. También recoger datos de producción, operaciones, investigación y desarrollo, y sistemas de información. Es importante incluir como factor clave a la clasificación de las fortalezas y debilidades más importantes de la empresa.
- Cuarto, plantea definir objetivos a largo plazo el cual representa los resultados esperados de aplicar ciertas estrategias. Estos objetivos deben ser realistas, comprensibles, cuantificables, cuantitativos, desafiantes, jerárquicos y congruentes con las unidades de la compañía. Además de relacionarse a un límite de tiempo, el ser establecidos con claridad ofrece beneficios al disminuir conflictos, reducir incertidumbre, estimular el desempeño, entre otros
- Quinto, el autor plantea generar, evaluar analizar, y seleccionar las estrategias. En este aspecto, David recomienda que los estrategas no pueden tomar en cuenta todas las alternativas que beneficien a la empresa, sino escoger un conjunto manejable y que resulte ser la opción más atractiva y ventajosa para la compañía.
- Sexto, el autor plantea implementar las estrategias. Es decir, no solo basta con formular las estrategias, sino que hace necesario llevar un plan que asegure su implementación exitosa. *“En una sola palabra, la implementación de la estrategia significa cambio”* (David, 2013)
- Séptimo, se debe medir y evaluar el desempeño de la estrategia, ya que estas evaluaciones oportunas podrían alertar sobre potenciales problemas antes de llegar a una situación crítica.
- Octavo, analizar los temas globales/internacionales Nuestra sociedad cada vez es más internacional y competitiva, por lo que se debe ofrecer productos o servicios competitivos a nivel internacional.
- Noveno, tener en cuenta los conceptos de ética de negocios, responsabilidad social y sostenibilidad ambiental. Para ello, se debe elaborar un informe corporativo de sostenibilidad no es obligatorio hacerlo, pero este informe puede lograr mucho

para convencer a los grupos de interés y de hacer ver a los demás que la empresa es digna y se preocupa por los demás.

2.2.3 Responsabilidad social

Las organizaciones tienen niveles de compromiso con los diferentes grupos de interés, compromisos que van mucho más allá del aspecto económico o comercial. Según Laasch y Conaway (2017), las empresas realizan actividades circunscritas en dominios que ellos denominan Administración Responsable, los cuales están subdivididos en Responsabilidad, Sostenibilidad y Ética.

Una comprensión simplificada de los tres dominios, precisa que:

- La sostenibilidad se orienta en el concepto central de la línea de triples resultados (entendido como valor y desempeño económico, social y ambiental) y su objetivo es crear una línea de triples resultados neutral o positiva.
- La responsabilidad se enfoca en el concepto central de los accionistas y a optimizar el valor del accionista.
- La ética se orienta en el concepto central de los problemas, las oportunidades éticas y busca crear la excelencia moral (Laasch y Conaway, 2017).

Responsabilidad

De manera inicial, se precisa que la responsabilidad es un dominio dentro de la Administración Responsable, que tiene como meta el maximizar el valor para todos sus miembros. Dicho esto, se entiende a la responsabilidad social empresarial como la administración del valor para con los grupos de interés, sean socios, accionistas, empleados, clientes, proveedores y medio ambiente, en el largo plazo (Laasch y Conaway, 2017, p.84).

Sobre sus orígenes, a partir de mediados del siglo XX, la responsabilidad social nace como referencia de las obligaciones organizacionales a las que tenía responsabilidad el propio empresario. En la década de 1960, la responsabilidad individual del empresario para con la sociedad se traslada hacia los grandes negocios y corporaciones, y aparece el concepto de responsabilidad social corporativa. Para la década de 1990, el concepto de ciudadanía corporativa hace hincapié al papel político que tiene una compañía dentro de la sociedad (Laarsch y Conaway, 2017, p.86). En la

década del 2010 apareció el tema de responsabilidad corporativa, el cual incluye temas y responsabilidades ambientales.

Ética de Negocios

En una Administración Responsable, el dominio de la Ética es saber administrar la Excelencia Moral, así como analizar la razón de porqué las personas hacen cosas buenas o malas. También la ética permite ayudar a tomar decisiones correctas (Laasch y Conaway, 2017, p.112)

Dentro de los principios claves que se promueve en la ética de negocios están el generar confianza, cumplir con las obligaciones y compromisos empresariales; tener documentación clara y un sistema contable controlado, eliminando cualquier actividad sospechosa; generar respeto a sus grupos de interés e involucrarse con la comunidad buscando ser un ciudadano responsable.

A través de con estos principios, se aspira a que la ética de negocios haga frente a infracciones legales y morales de organizaciones públicas y privadas, tales como realizar publicidad o etiquetas engañosas, generar daño al medio ambiente, u ofrecer productos defectuosos. Otras fallas éticas empresariales a enfrentar es el inflar las cuentas de gastos, hacer cobros de más, realizar tráfico de influencias, fomentar la desigualdad de oportunidades a mujeres y a las minorías, realizar explotación laboral o el acoso sexual.

Sostenibilidad

Laasch y Conaway (2017, p.61) refieren que la sostenibilidad es el grado en el que una situación se mantendrá tres tipos de capital (social, ambiental y económico). Esta sostenibilidad observa temas centrales como los ecosistemas, el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial. Los autores señalan que, para la existencia de un desarrollo sostenible, se deben utilizar tres tipos de capital:

- **Capital Social:** que considera a los individuos, capital humano, incluye al conocimiento, habilidades, valores, salud física y bienestar personal; así como aspectos que se crean de manera colectiva como valores conjuntos, cultura y bienestar colectivo. Una medida de capital social podría ser el crecimiento poblacional o el número de personas.

- Capital ambiental: También llamado capital natural, que incluye recursos naturales renovables como no renovables.
- Capital económico: Expresado en términos monetarios comprende los activos tangibles como maquinas e instalaciones de producción, así como intangibles tales como la lealtad del cliente, el valor de la marca, y recursos financieros como flujo de efectivo y margen de ingreso.

En lo que corresponde a sostenibilidad aplicada a la empresa, este enfoque se sustenta en la herramienta de la línea de triples resultados, que evalúa el desempeño social, ambiental y económico de una organización o actividad individual.

Aplicación de medidas socialmente responsables

Una empresa socialmente responsable establece rutas que guían la implantación de medidas responsables: priorizar los objetivos establecidos y tener en consideración los costos y beneficios que llevarán las medidas aplicadas. Según García, Palacios y Espasandín (2014, p.198), se consideran las siguientes (Figura 2.2):

Ámbito social		Ámbito medioambiental		Ámbito económico	
Personal empleado	Entorno local	Entorno local	Proveedores	Clientes	Proveedores
-Equilibrio entre la vida personal, laboral y familiar.	-Creación de puestos de trabajo.	-Ahorro de agua y eficiencia energética.	-Certificación ambiental.	-Seguridad de los productos.	-Información transparente y veraz.
-Igualdad de oportunidades.	-Apoyo a proyectos y actividades de la comunidad.	-Gestión correcta de los residuos.	-Productos no nocivos para la salud y el medio ambiente.	-Satisfacción de los clientes.	-Alianzas de cooperación duraderas en el tiempo.
-Salud y seguridad en el trabajo.	-Adaptación de las instalaciones para personas con movilidad reducida.	-Control y reducción de emisiones y vertidos.		-Publicidad ética	
-Salario y prestaciones		-Reciclaje			

Fuente: García, Palacios y Espasandín (2014)

Figura 2.2: Costos y beneficios de las medidas socialmente responsable

Una vez decididas y establecidas las medidas que la empresa va a desarrollar en su gestión diaria, se puede medir y evaluar su eficacia mediante el empleo de indicadores.

2.3 Sistemas eléctricos de energía

2.3.1 Términos básicos de electricidad

En la presente sección se explican los términos y definiciones presentes entre los ingenieros y personal técnico que trabajan en el área eléctrica (Rodríguez, 2008).

Tabla 2.1: Términos básicos de electricidad

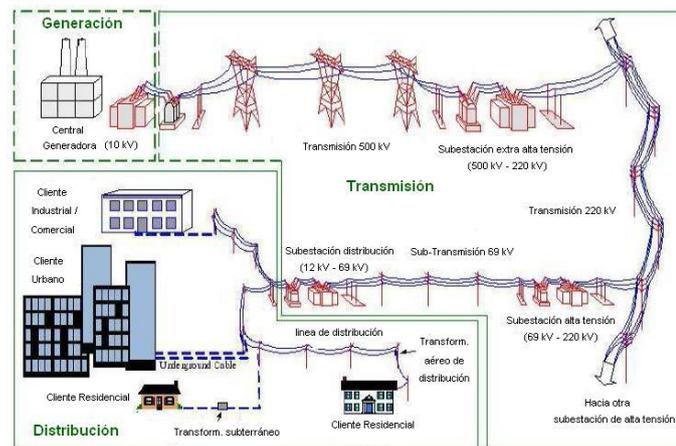
Término	Descripción	Unidad
electricidad	Utilizado para describir un fenómeno físico producto de microscópicas “cargas eléctricas” generalmente en movimiento.	-
frecuencia	utilizado para cuantificar el número de veces que una forma de onda [periódica] se repite en un intervalo de un segundo (s). En el Perú la frecuencia es de 60 Hz.	Hertz (Hz)
voltaje	en un sistema eléctrico es el equivalente a la presión en un sistema de flujo de agua o gas. Es formalmente definido como el resultado de la separación de cargas eléctricas (entre dos puntos) asociada con invisibles campos eléctricos	Voltios (V)
corriente	es el equivalente al flujo de agua en un sistema de flujo de agua. Es formalmente definido como el resultado del movimiento de las cargas eléctricas (a través del elemento) asociado con invisibles campos magnéticos	Amperios (A)
conductores	proveen la ruta para la corriente y son equivalentes a las tuberías en un sistema de flujo de agua.	-
impedancia	utilizado para cuantificar la propiedad de los conductores de impedir el flujo de corriente. Es calculado como el voltaje sobre la corriente	Ohms (Ω)
potencia	utilizado para representar la variación del trabajo o energía con respecto al tiempo. En la forma eléctrica es el producto del voltaje por la corriente.	Watts (W)
energía	En la forma eléctrica es la cantidad de potencia entregada (o utilizada) en un intervalo de tiempo	Watts hora (Wh)

2.3.2 Sistemas eléctricos de energía (SEE)

Definición

De acuerdo a Rodríguez (2008), un Sistema Eléctrico de Energía (SEE) es un conjunto de elementos que operan en conjunto y de manera coordinada para atender completamente la demanda eléctrica, incurriendo en el menor costo total posible y

manteniendo el mejor padrón de calidad posible. Entre los elementos tenemos a los generadores, transformadores, líneas de transmisión, medidores, etc. El padrón de calidad se refiere a que los niveles de tensión y frecuencia se deben encontrar dentro de una faja, que el servicio no debe sufrir interrupciones, que la forma de onda debe ser lo más sinusoidal posible y que el impacto ambiental debe ser mínimo, entre otros. La *demanda* es la cantidad de electricidad requerida por los usuarios, la cual es manipulada con unidades de potencia. En la Figura 2.3 se observa un ejemplo básico de un SEE.



Fuente: Rodríguez (2008)

Figura 2.3: Ejemplo básico de una SEE.

Estructura de los SEE

En la Figura 2.3 se pueden distinguir claramente los cuatro principales sub-sistemas que conforman un SEE: el sub-sistema de generación, de transmisión, de distribución y de comercialización. Adicionalmente a estos cuatro sub-sistemas puede mencionarse el sistema de adquisición de datos y supervisión o *Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)*.

El sub-sistema de generación está compuesto principalmente por los equipos generadores. Estos equipos poseen una máquina interna encargada de convertir una forma de energía (hidráulica, térmica, solar, etc) en energía eléctrica. La generación de energía se produce en determinados voltajes que típicamente varían entre 10 kV y 36 kV. Como en muchos casos los generadores se encuentran lejos de las cargas se requiere un sub-sistema de transmisión

El sub-sistema de transmisión está compuesto principalmente por los transformadores y las líneas de transmisión. Debido a que los generadores se

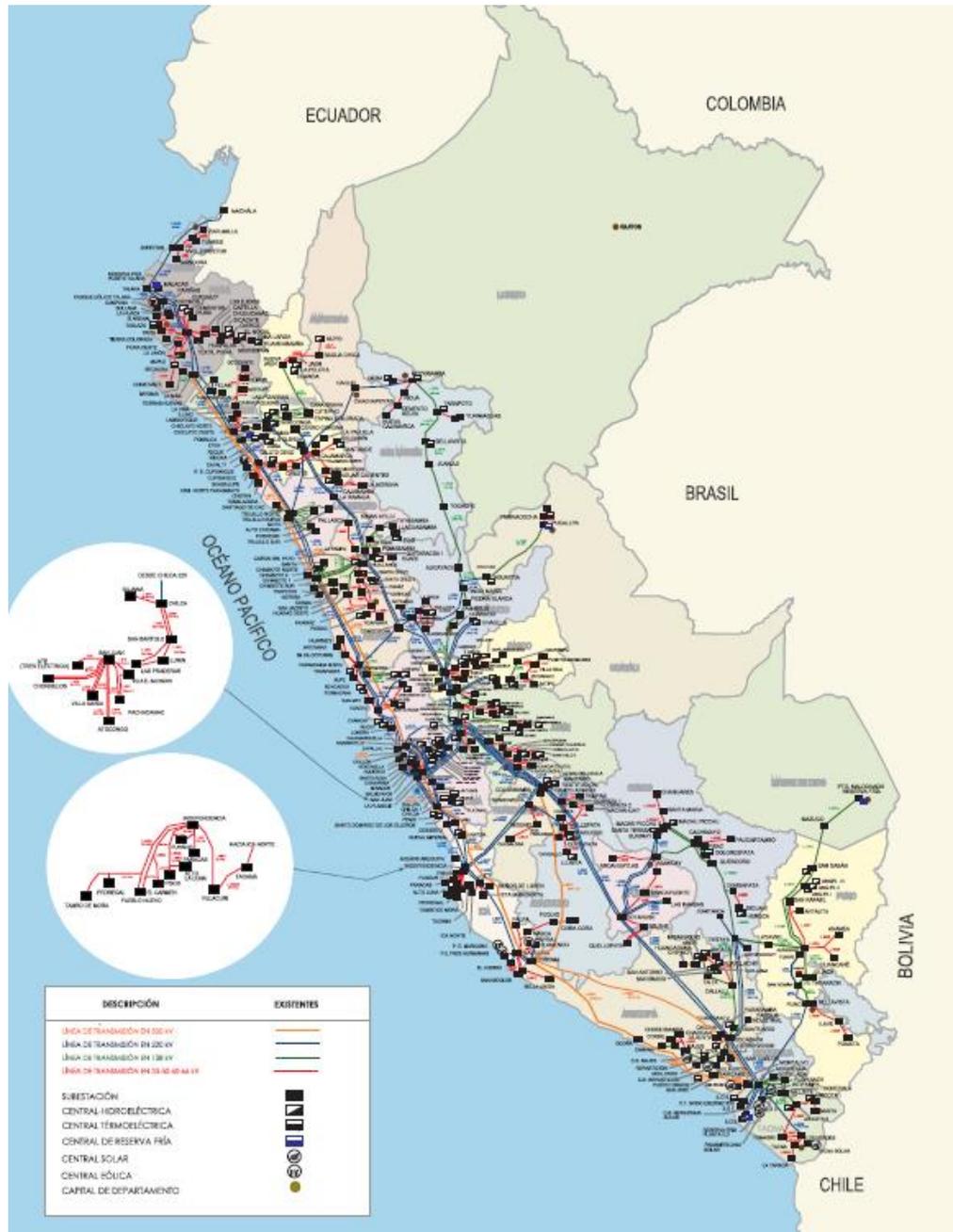
encuentran geográficamente lo más cerca posible a su fuente de energía primaria y los centros poblados se encuentran distribuidos en todo el territorio nacional, el sub-sistema de transmisión es el encargado de interconectarlos. La transmisión generalmente se realiza a voltajes elevados (138 kV, 220 kV, 500 kV), siendo los transformadores los encargados de elevar o reducir los voltajes.

El sub-sistema de distribución es el encargado de distribuir la energía eléctrica dentro de un centro poblado (ciudad) recibida del sub-sistema de transmisión. Esta distribución se realiza a voltajes que varían de 10 kV a 220 V. El sub-sistema de comercialización es el encargado de establecer una relación comercial con los clientes de forma que les garantice un suministro de energía eléctrica y reciba una compensación económica a cambio. En el Perú, estos dos sub-sistemas (distribución y comercialización) se encuentran unidos en uno solo.

Una gran particularidad de los SEE es que a la fecha no se cuenta con mecanismos de gran almacenamiento de energía económicamente viables dentro de los centros poblados. Esto obliga a que la energía demandada deba ser generada inmediatamente cuando requerida. Es decir, si un cliente enciende una lámpara de 30 W, entonces inmediatamente algún generador del sistema debe aumentar su producción en un valor muy próximo a esos 30 W. Este aumento origina cambios en varias magnitudes del sistema (voltaje, corriente, frecuencia, etc.), siendo necesario la aplicación de un sistema de control que actúe sobre algunos componentes del SEE de forma que se mantengan los padrones de calidad previamente establecidos.

El SEE peruano es denominado Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Tal como se puede observar en la Figura 2.4, el SEIN cubre una extensión geográfica de casi todo el territorio peruano, cubriendo todos los departamentos con excepción de Loreto, con una demanda máxima de 6885 MW. La operación y control la realiza el Comité de Operación Económica del Sistema (COES), el cual representa a 156 empresas (agentes) del sector. El COES es el encargado de, en tiempo real, monitorear los cambios en los valores de la demanda y decidir qué agente generador debe aumentar o disminuir su producción. Esta operación solo es posible debido que en el país se cuentan con diferentes fuentes primarias de energía: hidráulicas, térmicas, eólicas, solares, biomasa, etc.; las cuales son utilizadas de forma óptima de forma que

el costo total de la energía sea el menor posible, con las restricciones de que la calidad de energía se mantenga dentro de estándares previamente establecidos



Fuente: COES

Figura 2.4: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

2.4 Smart Grid

2.4.1 Definición

Roberts (2009) define el concepto de Smart-Grid como *“Una red inteligente que utiliza tecnología digital para mejorar la confiabilidad, seguridad y eficiencia (tanto económica como energética) del sistema eléctrico desde la generación grande, pasando por los sistemas de entrega hasta los consumidores de electricidad y un número creciente de recursos de almacenamiento y generación distribuida”*

La Plataforma Tecnológica Europea de Redes Inteligentes define a Smart-Grid como *“Redes eléctricas que pueden integrar de manera inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella: Generadores, consumidores y aquellos que hacen ambos con el fin de proporcionar eficientemente suministros de electricidad sostenibles, económicos y seguros”*

Falcao (2018) indica que la palabra Smart Grid actualmente se utiliza como término de marketing más que una definición técnica. Por lo tanto, él define que *“Smart Grid es un concepto de modernización a la red eléctrica que comprende todo lo relacionado con el sistema eléctrico entre el punto de generación y cualquier punto de conexión”*.

El aumento y la constante demanda de la electricidad a nivel mundial junto con los grandes desafíos del cambio climático demandan infraestructura de la red eléctrica mundial. La actual red se diseñó y construyó principalmente cuando la electricidad era económica y abundante, pues la prioridad era la electrificación.

Sin embargo, este concepto se está acercando a un punto de inflexión hacia una nueva fase, donde los principales impulsores serán conceptos innovadores como la eficiencia energética, el uso de fuentes de energía limpias (energías renovables y emisiones baja de carbono), la generación distribuida y el nuevo papel de los consumidores en la determinación de sus niveles de uso de energía. Bajo este contexto el proceso de hacer que la estructura actual sea “más inteligente” es fundamental para que el proceso de este cambio sea abordado con éxito.

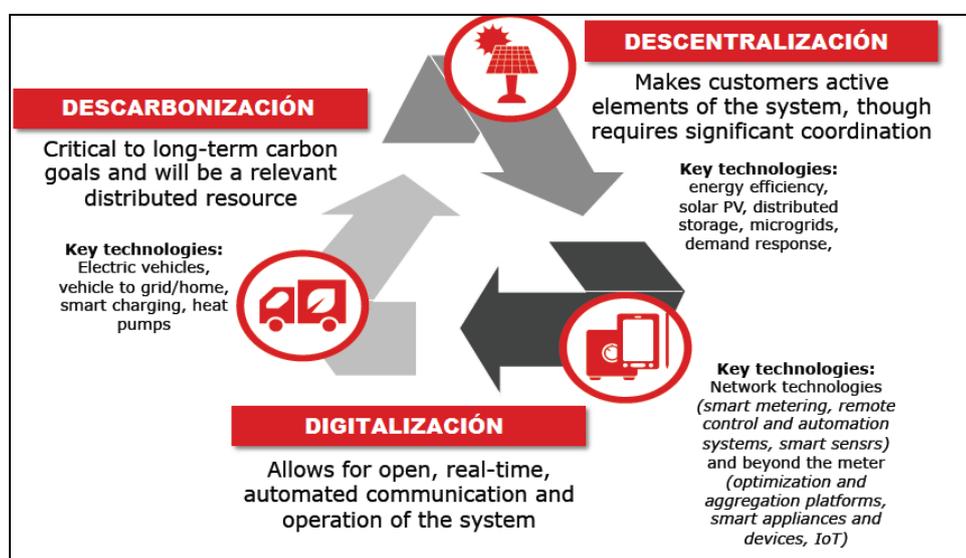
2.4.2 Tendencias en el sector eléctrico

Según the World Economic Forum (2017), el sistema eléctrico se encuentra en medio de una transformación, debido a que la tecnología y la innovación están

interrumpiendo los modelos tradicionales desde la generación hasta más allá de los medidores. Existen tres tendencias ya están convergiendo para producir interrupciones y que cambiarán el contexto: Descarbonización, Descentralización y Digitalización. Ésta tecnologías se detallan en el siguiente apartado.

- Descarbonización de grandes sectores como el transporte y la calefacción.
- La descentralización, estimulada por la fuerte disminución de costos de los recursos energéticos distribuidos, la generación distribuida, la flexibilidad de la demanda y la eficiencia energética
- La digitalización de la red, con medición inteligente, sensores inteligentes, automatización y otras tecnologías de red digital, la llegada del internet de las cosas (IoT) y una oleada de dispositivos conectados que consumen energía.

Estas tres tendencias (Figura 2.5) actúan como un círculo vicioso, permitiendo amplificar y reforzar los desarrollos más allá de sus contribuciones individuales.



Fuente (World Economic Forum, 2017)

Figura 2.5: Tres tendencias de la transformación de la industria eléctrica.

A medida que la generación se va desplazando hacia fuentes más renovables, la descarbonización crea beneficios ambientales adicionales, pues muchas industrias se están alejando de las fuentes de combustibles fósiles (el transporte, la calefacción, etc.). Esta descarbonización también aumenta la eficiencia energética.

Tendencia 1: Principales tecnologías en la descarbonización

➤ Vehículos Eléctricos

El vehículo eléctrico como definición, según la Sociedad de Técnicos de Automoción (2011) es “*Todo aquel capaz de avanzar utilizando únicamente un motor eléctrico*”

La invención del vehículo eléctrico tiene alrededor de 130 años desde su invención. Sin embargo, en los últimos años ha ganado mucha atención debido a que la sociedad se está preocupando más por la contaminación del aire y el calentamiento global asociados al uso del petróleo y este equipo reemplaza el consumo del diésel y la gasolina. Su evolución a nivel tecnológico está conduciendo a una penetración progresiva dentro del sector transporte. Esto superpone un incremento en el uso y demanda de la electricidad, y la electrificación del transporte.

Uno de los elementos más importantes de un vehículo eléctrico es el motor, y este es uno de los verdaderos propulsores de este cambio tecnológico ya que es la encargada de dar potencia y no emitir ningún tipo de residuo.

Podemos enumerar una serie de ventajas del vehículo eléctrico en base a un vehículo con motor de combustión (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011):

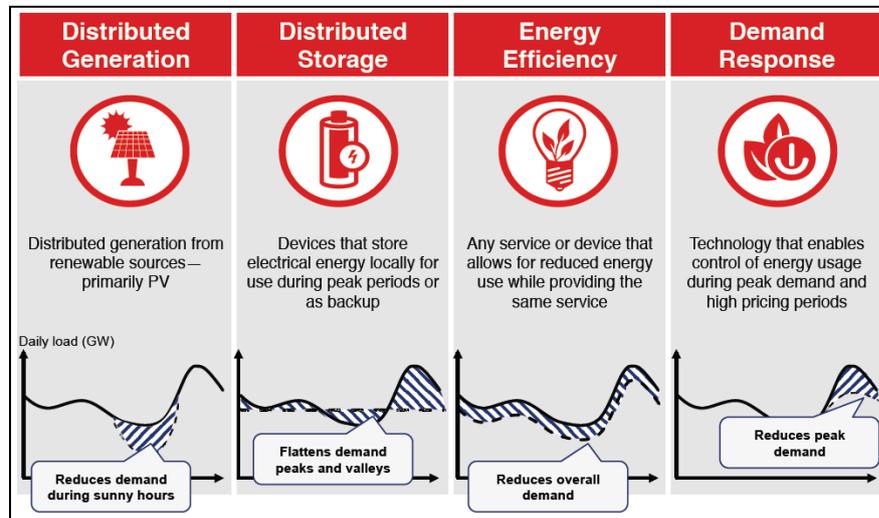
- Eficiencia energética
- El nivel de ruido de un motor eléctrico es más silencioso de un motor de combustión
- Bajo coste
- Fabricación y mantenimiento fácil
- Alta capacidad de sobrecarga

Tendencia 2: Principales tecnologías en la descentralización

La descentralización de la energía hace referencia a varias tecnologías con diferentes aplicaciones (Figura 2.6):

- La **generación distribuida** a partir de fuentes renovables (principalmente fotovoltaica solar) que reduce la demanda durante las horas de sol del día.

- El **almacenamiento distribuido** recolecta energía eléctrica localmente para uso durante períodos pico o como respaldo, aplanando la demanda picos y valles.
- La **eficiencia energética** permite un uso reducido de la energía mientras se brinda el mismo servicio, lo que reduce la demanda general.
- La **gestión de la demanda** permite el control del uso de energía durante los períodos de mayor demanda y de precios altos, reduciendo el pico demanda.



Fuente: (World Economic Forum, 2017)

Figura 2.6: Principales tecnologías en la descentralización

➤ Generación distribuida

Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos (SFV) se pueden definir como aquel conjunto de dispositivos que aprovechan energía del sol y que es convertida en energía eléctrica.

Podemos diferenciar 3 tipos de sistemas fotovoltaicos:

Sistema Fotovoltaico Aislado: Se utiliza para el suministro de energía a lugares donde no llegan las compañías eléctricas por su ubicación. Estos sistemas cuentan con baterías que acumulan la energía solar durante el día y la consumen durante la noche.

Sistema Fotovoltaico conectado a la red: Son sistemas que están conectados con la red eléctrica, y que no llevan acumuladores de energía (baterías). Cuentan con elementos que permiten regular la forma y cantidad que se suministra la energía eléctrica de la red central

Sistema Fotovoltaico híbrido: Usan una tecnología auxiliar adicional a la que se cuenta con placas fotovoltaicas.

Según la norma EDGE (2015), el SFV está compuesto por:

- Generador Fotovoltaico, que se compone por uno o más módulos fotovoltaicos
- Un banco de baterías
- Una unidad de control
- Lámparas en corriente continua
- Accesorios principales (Soporte y poste del generador fotovoltaico, gabinete de control, racks para batería, sistemas de distribución eléctrica).

➤ **Almacenamiento distribuido**

Según el World Economic Forum (2017), la generación distribuida genera beneficios al cliente y al sistema de varias maneras. Para el cliente, puede ser una elección atractiva y económica, sobre todo en si se encuentran en lugares soleados y ésta situación pueda generar más electricidad. Para el sistema en general, la generación distribuida puede suministrar electricidad directamente a un porcentaje de cliente que, dependiendo de cómo se encuentra la infraestructura de la red, necesitan aplazar sus inversiones de capital para mantener y operar las redes.

En otros casos, la generación distribuida puede ser la forma más conveniente y económica de brindar electricidad, sobre todo en lugares donde sería demasiado costoso o requeriría mucho tiempo agregar una nueva infraestructura

➤ **Eficiencia Energética**

La eficiencia energética se denomina a la actividad cuyo objetivo es la mejora de las fuentes de energía. En otras palabras, es aquella relación de la cantidad de energía que es utilizada vs la prevista para su realización.

Según el World Economic Forum (2017), los programas de innovación de productos y eficiencia energética se han combinado para hacer que la mayoría de productos de energía y consumo sean mucho más eficientes de los que era hace unos años. El consumo de energía para la iluminación ha caído en mucho más de la mitad, debido al uso de los fluorescentes compactos y uso de los LED.

➤ **Gestión de la demanda**

La gestión de la demanda permite que la producción de energía sea la misma de lo que realmente se consume.

Según el World Economic Forum (2013), la gestión de la demanda crea flexibilidad al proporcionar señales de precio y volumen y, en ocasiones, incentivos financieros para ajustar el nivel de la demanda y los recursos de generación (consumo, generación distribuida y almacenamiento) en momentos estratégicos del día.

Las políticas energéticas de todo el mundo reconocen cada vez más la importancia de la respuesta a la demanda y están empezando a resolver los desafíos que dificultan su plena aceptación.

Tendencia 3: Principales tecnologías en la digitalización

Las tecnologías digitales permiten cada vez más dispositivos a través de la red para comunicarse y proporcionar datos útiles para los clientes y para la administración y operación de la red (World Economic Forum, 2013). Los medidores inteligentes, los nuevos sensores inteligentes / IoT, los sistemas de control remoto y automatización de la red y las plataformas digitales que se centran en la optimización y la agregación, permiten el funcionamiento en tiempo real de la red y sus recursos conectados y recopilan datos de la red para mejorar el conocimiento de la situación y los servicios públicos.

Los datos de dispositivos inteligentes y recursos distribuidos en general serán críticos para los nuevos modelos de negocios y para facilitar el compromiso del cliente y la adopción de tecnologías.

➤ **Medidores Inteligentes**

Es un dispositivo contador avanzado de electricidad que calcula el consumo de energía una forma más detallada que los medidores convencionales. Proporciona lecturas diarias e incluso por minutos. Posee baterías que pueden reemplazarse cada 10 o 20 años. Ésta informa a la compañía de electricidad en caso de manipulación o robo del servicio y envía una notificación para informar que el suministro eléctrico se perdió

CAPÍTULO 3. EL PROBLEMA DE LA ELECTRIFICACIÓN EN LORETO

3.1 Introducción

La región de Loreto es la región geográfica más grande dentro de todo el territorio nacional, cuenta con innumerables fuentes energéticas con potencial aprovechable para el país, y paradójicamente, es la única región que no está interconectada al sistema eléctrico nacional. La falta de interconexión eléctrica genera que toda la población de Loreto no pueda beneficiarse de los beneficios que el mercado eléctrico establece para el resto del país.

La aplicación de soluciones para el problema de la electrificación rural se dificulta para la región Loreto debido a lo comentado en el párrafo anterior. Es por esto que esta región fue seleccionada como región de estudio para la presente tesis.

En el presente capítulo, inicialmente se comenta brevemente el problema de la electrificación rural en el mundo y en el Perú. Seguidamente se describen los principales agentes que intervienen dentro del proceso de electrificación rural, prestando especial interés en aquel que actualmente está instalando una solución relativamente nueva para el acceso a la electricidad de comunidades rurales, la empresa ERGON. Finalmente, se comentan los tipos de intervención técnica que se han realizado en los últimos años en la región, los índices de electrificación existentes, así como las perspectivas futuras de electrificación.

3.2 El problema de la electrificación rural en el mundo

En la Tabla 3.1 se puede observar el estado de la electrificación rural en el mundo hasta el año 2011. En esta tabla se observa que existen más de 1250 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad, los cuales están principalmente concentrados en el África y Asia.

Tabla 3.1: Acceso a la electricidad en el Mundo

	Population without electricity [millions]	Electrification rate [%]	Urban electrification [%]	Rural electrification [%]
Africa	600	43	65	28
Developing Asia	615	83	95	75
Latin America	24	95	99	81
Middle East	19	91	99	76
Developing countries	1257	76.5	90.6	65.1
Transition economies and OECD	1	99.9	100.0	99.7
World	1258	81.9	93.7	69.0

Fuente: Mandelli, Barbieri, Mereu y Colombo (2016)

3.3 El problema de la electrificación rural en el Perú

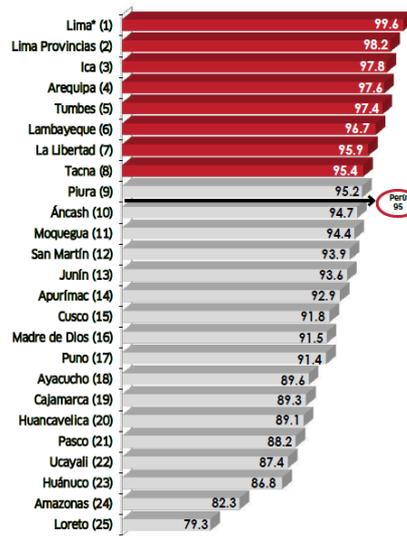
El Perú no es ajeno al problema de electrificación rural mundial comentado en la sección anterior. Según Anaya (2015), hasta el 2015 el Perú contaba con un coeficiente de electrificación rural del 78%, mientras que este coeficiente nacional era de 93%. Entre las principales causas para el bajo índice de electrificación rural tenemos:

- Comunidades rurales se encuentran alejadas de la red principal, lo que encarece los proyectos de interconexión.
- Comunidades rurales poseen viviendas dispersas, lo que aumenta la inversión requerida en redes eléctricas de distribución.
- Comunidades rurales poseen pobladores con bajos recursos económicos, lo que significa demandas pequeñas con una correspondiente facturación pequeña, que generalmente no cubren los costos de inversión necesarios.

Aun considerando el índice nacional de electrificación, la cobertura de electricidad es desigual en las distintas regiones del Perú, sobre todo en las más alejadas y con la de mayor pobreza. En la Figura 3.1 se puede observar la cobertura por departamento, notando que el de menor es Loreto (79.3%).

2.1 Cobertura de electricidad

(en paréntesis el puesto entre 25 regiones y valor en porcentaje de hogares que disponen de alumbrado eléctrico por red pública)

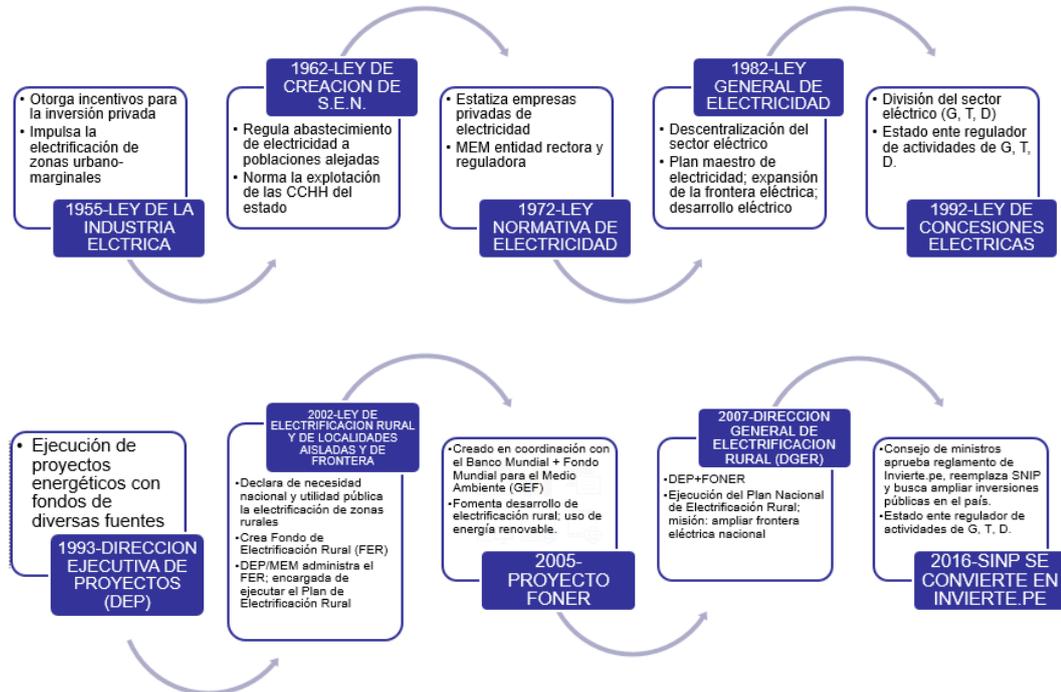


Fuente: INCORE (2018)

Figura 3.1: Cobertura de electricidad por departamentos.

3.4 Normativa existente

Considerando que el acceso a la electricidad es un derecho universal que todo ciudadano peruano tiene (de acuerdo a la Constitución Política del Perú); el Estado Peruano ha establecido un marco normativo para fomentar el acceso a la electricidad. La evolución de esta normativa se puede observar en la Figura 3.2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2: Electrificación Rural - Evolución de la normativa.

Esta evolución del marco normativo obedece a la aplicación de las políticas públicas del Estado referentes al acceso igualitario de oportunidades de los ciudadanos a través del acceso de la electricidad. Dentro del marco normativo mostrado se pueden observar:

- Ley No. 28749, la cual crea la Dirección General de Electrificación Rural (DGER) dentro del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), con el objetivo de ampliar la frontera eléctrica nacional a través de la ejecución de proyectos de electrificación rural.
- Ley No. 29852, la cual crea el mecanismo FISE, el cual recarga la tarifa de los usuarios del sistema interconectado, para entre otros objetivos, transferir fondos a las empresas de distribución eléctrica que operan en zonas aisladas para la electrificación de zonas vulnerables (a través de paneles solares, células fotovoltaicas, etc.) y para la compensación de la tarifa eléctrica residencial que facturan.
- Ley No. 27510, la cual crea el FOSE, el cual otorga un descuento a los usuarios residenciales en áreas rurales o urbano-rural con consumo menor a 30 kWh mensual.
- Ley 27133 (ley que afianza la seguridad energética), la cual crea el mecanismo de compensación para la generación en sistemas eléctricos aislados. Este mecanismo se financia con un cargo adicional al peaje de transmisión en el sistema interconectado, y tiene como objetivo que los clientes en zonas aisladas paguen una tarifa similar a los clientes dentro del sistema interconectado.

3.5 El proceso de electrificación rural

El proceso de electrificación rural tiene como uno de sus principales entregables el Plan Nacional de Electrificación Rural. Este plan tiene un horizonte de 10 años y se elabora con frecuencia bianual, con la participación de varios agentes públicos. Este plan consolida todos los proyectos a ser ejecutados por diversos agentes de forma que no exista duplicidad de proyectos, así como que exista una adecuada priorización de atención de brechas. En la Figura 3.3 se puede observar la interacción entre los diversos agentes que participan en el proceso de electrificación rural.

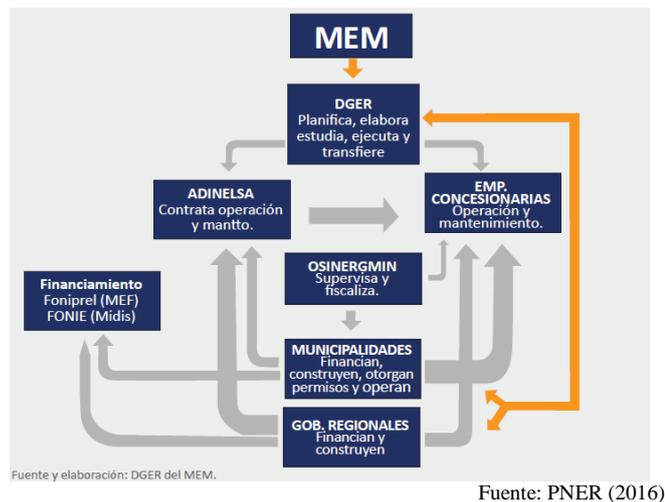


Figura 3.1: Electrificación rural - Agentes

Como se puede observar en la Figura 3.1 existen diversos agentes que participan en el proceso de electrificación rural. A seguir se presenta una breve explicación del rol que cumplen cada uno:

- La DGER elabora una planificación identificando los proyectos necesarios para el cierre de brechas de electrificación rural. Es responsable también por las transferencias a las diversas unidades ejecutoras de estos proyectos. En algunos casos es responsable también por la ejecución de proyectos de electrificación.
- Osinergmin supervisa y fiscaliza el correcto uso de los recursos por parte de la DGER, así como el adecuado funcionamiento de las instalaciones construidas.
- Las empresas de distribución concesionarias, formulan los proyectos de electrificación rural necesarios en sus respectivas zonas de concesión, las cuales son consolidadas por la DGER. Son receptoras de las transferencias realizadas por la DGER. Una vez construidas las redes, son responsables por la operación y mantenimiento de las mismas.
- Adinelsa recepciona las instalaciones construidas por la DGER que no pertenecen a la zona de concesión de alguna empresa de distribución, con la finalidad de operar y mantener las redes durante su tiempo de vida útil.
- Los gobiernos regionales y locales, financian, elaboran y ejecutan proyectos de electrificación rural.

Adicionalmente a los agentes comentados, existe un agente privado que también está participando en el cierre de brechas de electrificación: la empresa ERGON.

3.6 Agente privado ERGON

La empresa local Ergon Peru SAC es una compañía de capitales italianos perteneciente al grupo Tozzi Green que el 2014, producto de la primera subasta rural, se adjudicó la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos no conectados a red por un período de quince años. Un ejemplo de estos sistemas se puede observar en la Figura 3.2.



Fuente: OSINERGMIN (2016b)

Figura 3.2: Ergon - sistema fotovoltaico domiciliario

Producto de la subasta, Ergon quedó con la responsabilidad de instalar sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) beneficiando a aproximadamente 600 000 personas. Considerando que en promedio existen 4 personas por vivienda, esto representaría la instalación, en una primera etapa, de 150 000 sistemas iniciando en julio 2015. Las instalaciones poseen módulos comunes para 3 tipos de usuarios: viviendas rurales, entidades de salud y escuelas. Estas instalaciones se pueden observar en la Figura 3.3.



(i) Vivienda



(ii) Entidades de Salud



(iii) Escuelas

Fuente: OSINERGMIN (2016b)

Figura 3.3: Ergon – tipos de instalaciones

3.7 Tipos de intervención técnica

Los diversos agentes mostrados en la Figura 3.1, que realizan ejecución de obras de electrificación rural, solo realizan 3 tipos de intervención técnica:

- Ampliación de la red interconectada. Esta opción consiste en la construcción de redes de forma que la comunidad se interconecte al sistema. La gran ventaja de esta opción es la confiabilidad en el servicio que el cliente adquiere. La gran desventaja es que dependiendo de la distancia, puede representar costos de inversión muy elevados.
- Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios. Esta opción consiste en la instalación de un conjunto pequeño de paneles en cada una de las instalaciones existentes dentro de la comunidad. Es la opción seguida actualmente por ERGON.
- Instalación de un Sistema Eléctrico Rural. Esta opción consiste en construir una pequeña red, no conectada a la red eléctrica nacional, con una única fuente de energía. Típicamente esta fuente de energía ha sido la térmica, seguida por la hidráulica. En los últimos años se están probando las solares, pero no en operando en conjunto con otras fuentes de energía.

3.8 Estado situacional de la electrificación rural en la Región Loreto

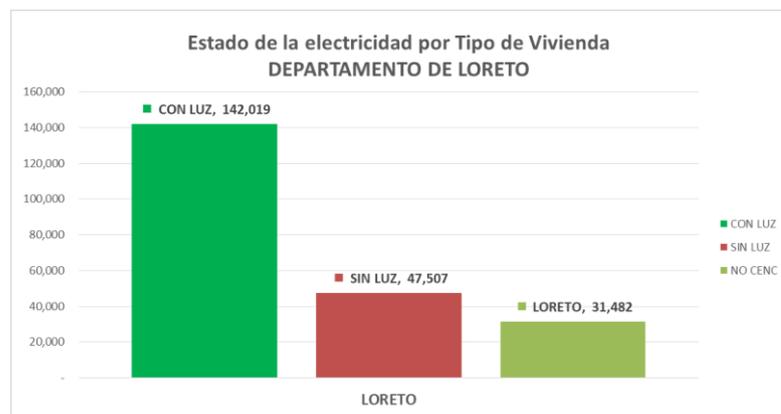
Loreto es un departamento que se sitúa al noreste del país, en la Amazonía del Perú. Cuenta con 883,510 habitantes, de los cuales 250,065 personas pertenecen al área Rural (28% de la población), y el número de viviendas catalogadas como Rural asciende a 65,986 viviendas (30% del total de viviendas). Estos datos fueron obtenidos del INEI y pueden ser observados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Loreto – Electrificación por viviendas

AREA	POBLACIÓN		NRO VIVENDAS			
	POBLACIÓN	% TOTAL	CON LUZ	SIN LUZ	NO CENC	TOTAL
RURAL	250,085	28%	18,489	36,998	10,499	65,986
URBANO	633,425	72%	123,530	10,509	20,983	155,022
Total general	883,510	100%	142,019	47,507	31,482	221,008

Fuente: INEI (2017)

Del total de viviendas de Loreto, existen 47 507 viviendas que no cuentan con servicio eléctrico (21% del total). Esto puede ser observado en la Figura 3.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4: Loreto - Viviendas con y sin energía eléctrica.

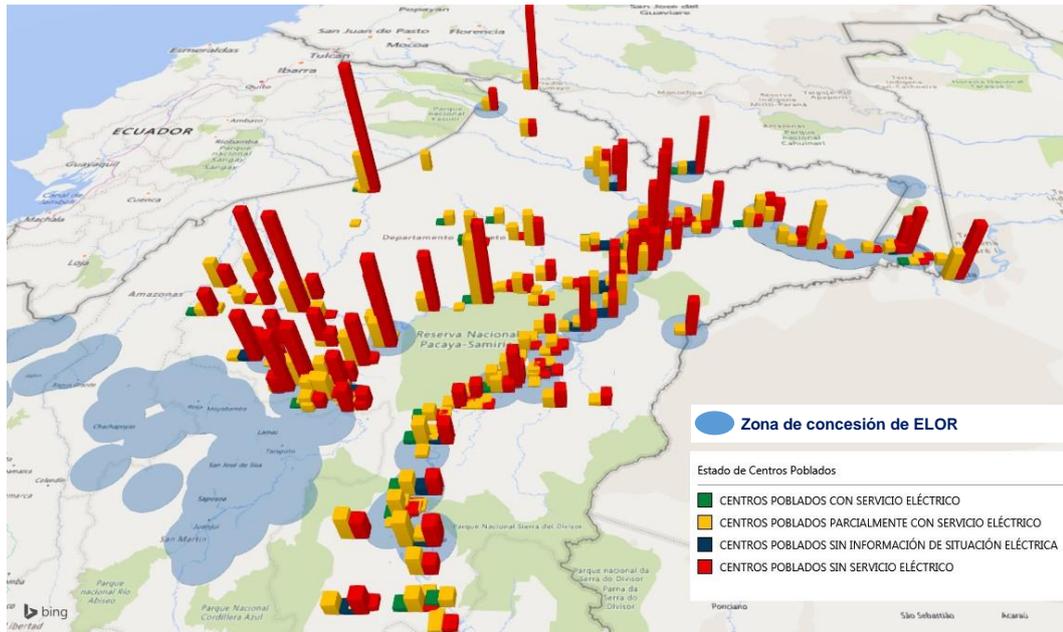
La información de la Tabla 3.2, desagregada por provincia puede ser observada en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Loreto – Electrificación por provincias

PROVINCIA	POBLACIÓN	% TOTAL	CON LUZ	SIN LUZ	NO CENC	TOTAL	% CON LUZ	% SIN LUZ	% NO CENC	% VIVIENDAS
ALTO AMAZONAS	122,725	14%	20,021	7,946	4,718	32,685	61%	24%	14%	100%
DATEM DEL MARANON	48,482	5%	4,248	5,823	1,513	11,584	37%	50%	13%	100%
LORETO	62,437	7%	8,781	4,771	1,770	15,322	57%	31%	12%	100%
MARISCAL RAMON CASTIL	49,072	6%	6,291	4,068	2,882	13,241	48%	31%	22%	100%
MAYNAS	479,866	54%	86,512	15,295	16,830	118,637	73%	13%	14%	100%
PUTUMAYO	7,780	1%	745	953	462	2,160	34%	44%	21%	100%
REQUENA	58,511	7%	8,523	3,593	1,637	13,753	62%	26%	12%	100%
UCAYALI	54,637	6%	6,898	5,058	1,670	13,626	51%	37%	12%	100%
TOTAL	883,510		142,019	47,507	31,482	221,008				

Fuente: INEI (2017), Gráfico: Elaboración propia

En la Figura 3.5 se puede observar un resumen de las estadísticas previamente presentadas. En esta figura, de color celeste se encuentran las zonas de concesión de la empresa distribuidora actuante en Loreto: Electro Oriente S.A. Adicionalmente, se tienen en forma de barras, las cantidades de centros poblados que cuentan (color verde), que cuentan parcialmente (color amarillo) o no (color rojo) con servicio eléctrico. En esta figura se puede apreciar que existen muchas comunidades que no están dentro de la zona de concesión de Electro Oriente por lo que deben ser electrificadas por los gobiernos locales, regionales o proyectos directamente ejecutados por la DGER.



Fuente: INEI (2017), Gráfico: Elaboración propia

Figura 3.5: Estado de la electricidad por centro poblado.

Un levantamiento de información con la empresa Electro Oriente indicó que, dentro de Loreto, todos los sistemas eléctricos existentes son sistemas aislados. Ordenados en función a la cantidad de viviendas que atienden, el mayor sistema es el Sistema Eléctrico Aislado de Iquitos (9 117 viviendas). Los siguientes 26 sistemas aislados (32 651 viviendas) son sistemas puramente térmicos, con una operación que solo es viable económicamente gracias al mecanismo de compensación de operación de sistemas aislados. De este último grupo, 18 sistemas aislados (10 140 viviendas) solo suministran energía eléctrica por horas. Estos 18 sistemas cuentan con proyectos en cursos (etapa de pre-inversión) para aumentar las horas del servicio eléctrico.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE SMART GRID DENTRO DEL PROCESO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

4.1 Introducción

De acuerdo a los capítulos anteriores, el Estado Peruano aun tiene un gran desafío ya que aproximadamente el 10% de sus habitantes rurales no cuentan con acceso a la electricidad. Este número es mayor si consideramos aquellos habitantes con acceso inadecuado (bajo los estándares de calidad de energía) a la energía eléctrica. Para afrontar este problema, el Estado Peruano debe establecer políticas públicas con el objetivo de cerrar estas brechas.

Entre estas políticas públicas está la creación de una Dirección con este objetivo dentro del Ministerio de Energía y Minas (la DGER), el establecimiento de un marco jurídico que permita efectuar compensaciones económicas que alivien la inversión, operación y mantenimiento de las redes rurales, así como el direccionamiento de diversas de sus instituciones (gobiernos regionales, empresas estatales, etc), para su intervención en casos donde el propio mercado no garantice la inversión requerida. Estas instituciones deben incorporar dentro de sus estrategias la adecuada intervención para su colaboración en el cierre de brechas de electrificación rural.

Entre las empresas estatales que colaboran con el cierre de brechas de electrificación rural, tenemos a las empresas de distribución eléctrica regidas bajo el ámbito del FONAFE. En el caso de la región Loreto, la empresa de distribución es Electro Oriente S.A. (ELOR). ELOR tiene dentro de sus estrategias la satisfacción de los clientes, incremento de sus beneficios económicos, incrementar el valor social y ambiental, así como ser responsable con el desarrollo del área en la que tiene actuación. Para lograr estos objetivos ELOR debe proponer proyectos de electrificación rural con una mínima rentabilidad.

Este capítulo propone una metodología para la selección de proyectos de electrificación rural que no solo cumplen con los objetivos de una empresa como ELOR, sino también puede ser utilizada por otros agentes del sector eléctrico.

4.2 Políticas públicas

4.2.1 Políticas Públicas Nacionales

Las Políticas Públicas son mecanismos o acciones del Estado que buscan resolver problemas o demandas requeridas por la sociedad. Se entiende que las políticas de estado llevan a cabo políticas nacionales que son diseñadas por un organismo descentralizado, que es el CEPLAN. Estas medidas están enmarcadas dentro del Plan Perú 2021, el cual comprende una serie de acciones que el Estado plantea lograr para los 200 años de la República

4.2.2 Políticas Sectoriales (MINEM):

Dentro de las políticas sectoriales del Ministerio de Energía y Minas, determinadas por el CEPLAN, se encuentran medidas específicas a cumplir por parte del sector energético-minero. Estas comprenden el Plan Nacional de Electrificación Rural, el Plan de Acceso Universal a la Energía, 2013-2022, y la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040.

En este marco de políticas sectoriales, se cuenta con organismos públicos que participan como grupos de interés institucionales para la formulación de estas políticas, como son: el Ministerio de Energía y Minas, la Dirección General de Electrificación Rural, ADINELSA, FONAFE, empresas distribuidoras del Estado, los gobiernos regionales y gobiernos locales (Véase figura 4.1).



Fuente: CEPLAN (2019)

Figura 4.1: Políticas en Electrificación Rural

4.2.3 Políticas en electrificación rural:

Las políticas en las cuales se enmarca la electrificación rural están señaladas en la Ley N° 28749 (Ley General de Electrificación Rural), se basan en la figura 4.2:

<p>1.- Enmarcar la electrificación rural dentro de la acción conjunta del estado como instrumento del desarrollo rural integral, impulsando el incremento de la demanda eléctrica rural y promoviendo el uso productivo de la energía eléctrica mediante la capacitación de los usuarios rurales.</p> <p>2.- Orientar las inversiones hacia las zonas con menor cobertura eléctrica y las de mayor índice de pobreza, con el fin de acelerar su desarrollo.</p> <p>3.- Fortalecer el proceso de descentralización, mediante planes y proyectos de electrificación rural concertados con los Gobiernos Regionales y Locales que permita la transferencia tecnológica, de diseño y construcción de sistemas eléctricos rurales.</p> <p>4.- Mejoramiento permanentemente de la tecnología aplicada a los proyectos de electrificación rural, promoviendo el uso de energías renovables.</p> <p>5.- Fortalecimiento de la entidad como organismo nacional competente. Transparencia en la priorización e información de los proyectos de electrificación rural, convirtiéndola en una institución transparente, moderna y eficiente.</p>

Fuente: Políticas en Electrificación Rural (2006)

Figura 4.2: Políticas en Electrificación Rural

A nivel estratégico sectorial (Ministerio de Energía y Minas), las políticas de Electrificación Rural forman parte del Plan Estratégico de Desarrollo Nacional y a la visión del Sector Minero-Energético perteneciente al Plan Estratégico Institucional (PEI) del Plan Estratégico Sectorial Multianual PESEM 2016-2021 (2016).

Según el PEI, La Dirección General de Electrificación Rural es evaluada según:

- Una Fase Estratégica del sector minero-energético, que contienen la visión al 2021, objetivos y acciones estratégicas institucionales; y
- Una Fase Institucional, que identifica los cambios que el MEM pretende alcanzar en las condiciones de los actores del sector minero-energético y en el entorno en el que se desenvuelven

En la Fase Estratégica, la Dirección de Electrificación Rural se halla incorporada a la visión del Sector Minero Energético Peruano para el 2021, que apunta a ser un sector altamente competitivo de cara al mundo, que promueva el desarrollo sostenible y eficiente de la explotación de los recursos minero/energético para satisfacer las necesidades de la población, respetando y cuidando el medio ambiente, contribuyendo y respetando a la cultura de los pueblos así como a la reducción de la pobreza para promover el desarrollo integral del país.

Los objetivos estratégicos sectoriales, proponen un plan de cuatro objetivos estratégicos principales (Véase figura 4.3):

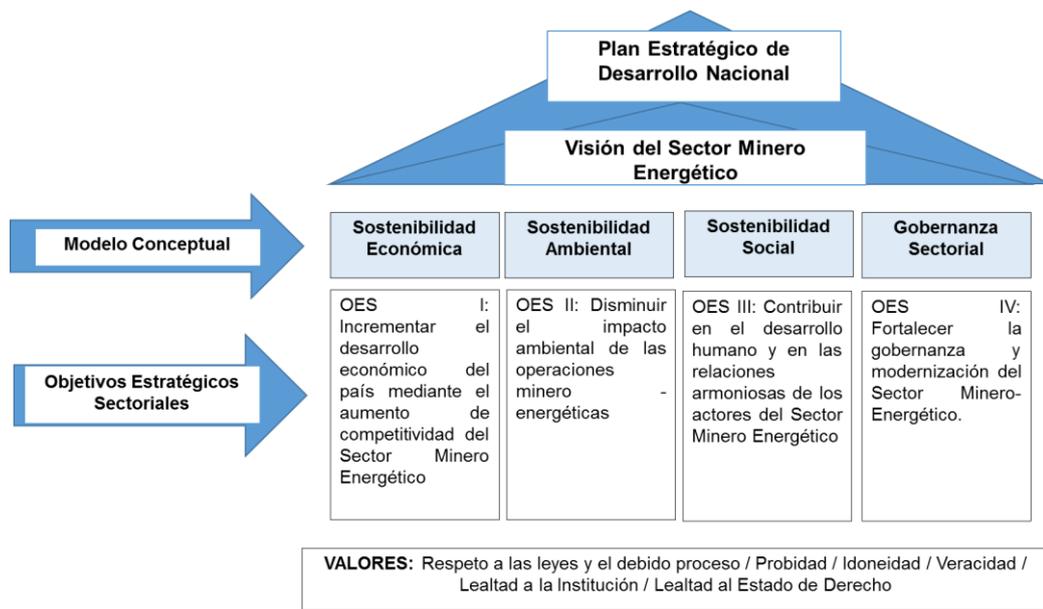


Figura 4.3: Estrategia para el Sector Minero - Energético

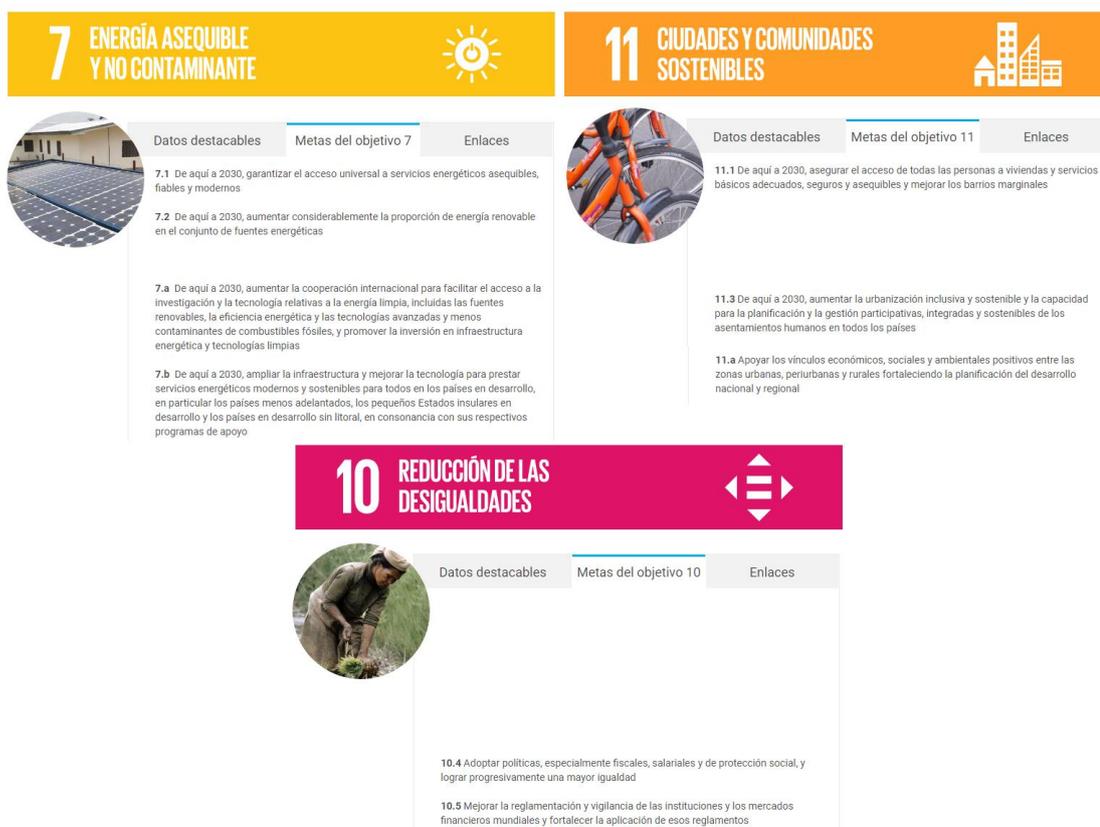
Asimismo, en la Fase Estratégica del PEI del MEM, la Dirección de Electrificación Rural (en conjunto con la Dirección General de Electricidad) se articula con el Modelo Conceptual de Sostenibilidad Social, la Variable Estratégica referida al Acceso a la Electrificación Nacional, y con el Objetivo Estratégico Social III, que apunta a contribuir con el desarrollo humano y el fomento de relaciones armoniosas. Como indicador esperado, se mide el coeficiente de electrificación nacional (Figura 4.4).

Indicadores	Fuente y responsable	Medida	Línea base	Proyección de Metas									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Coeficiente de Electrificación Rural	DGE, DGER (MEM)	%	93.3 (2015)	95.1	96.4	97.3	98.3	99.2	99.5	99.6	99.7	99.8	99.9

Fuente: Plan Estratégico Institucional Ministerio Energía y Minas (2016)

Figura 4.4: Proyección del Coeficiente de Electrificación Rural

Las políticas de Electrificación Rural también están alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, enmarcado en los Objetivos 7 (Energía Asequible y No Contaminante), 10, (Reducción de las Desigualdades), y 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), que se muestran en la figura 4.5:



Fuente: ONU (2015)

Figura 4.5: ODS de la ONU alineados a las políticas de Electrificación Rural

4.3 Utilización de estrategia

Actualmente, la única empresa que brinda el servicio de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica con carácter de servicio público en el departamento de Loreto es Electro Oriente. Esta empresa a su vez se encarga del planeamiento, estudios y ejecución de proyectos de los sistemas eléctricos de su zona de concesión con el fin de asegurar el abastecimiento garantizado, adecuado y económico de la energía eléctrica. Por este motivo analizaremos la estrategia desde el punto de vista de dicha empresa.

4.3.1 Desarrollo de la misión y la visión

Misión: “Somos *Electro Oriente* empresa del Estado que brinda servicio de calidad y genera valor económico, social y ambiental para el desarrollo de las regiones de Amazonas, Cajamarca, Loreto y San Martín” (ELOR, 2019)

Visión: “*Electro Oriente* empresa del Estado moderna y reconocida por brindar un servicio de calidad responsablemente en las regiones de Amazonas, Cajamarca, Loreto y San Martín.” (ELOR, 2019)”

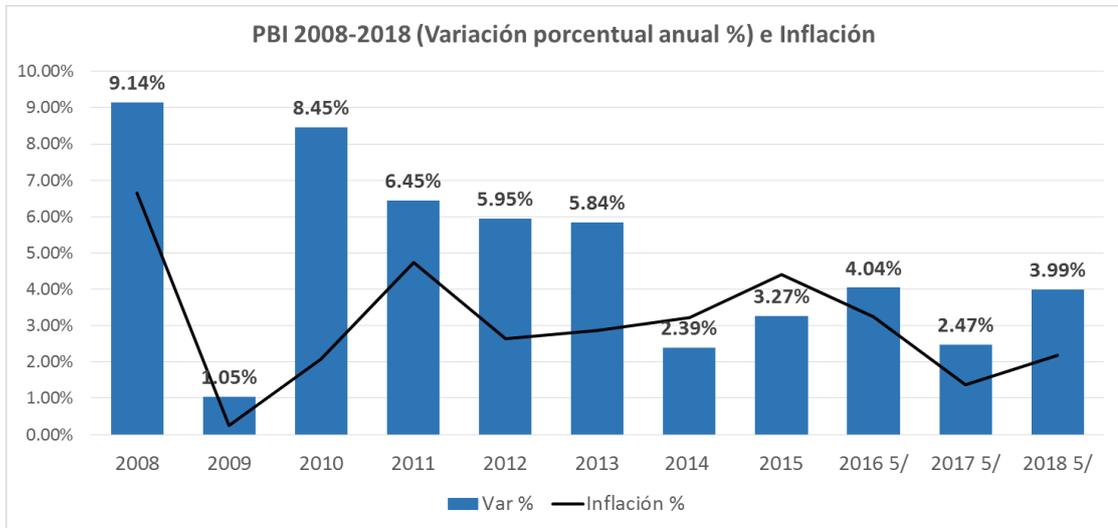
Valores:

Los valores que mueven a una empresa como Electroriente son: “*Excelencia en el servicio, compromiso, integridad, innovación e integración*” (ELOR 2019)

4.3.2 Análisis externo

Evolución del PBI y de la inflación

El PBI de Perú en los últimos 10 años ha alcanzado un crecimiento consecutivo, creciendo en los últimos 5 años a tasas entre 2.5% y 4.0% (Véase Figura 4.6). Se prevé que para el año 2019 el PBI crecerá solo un 3.5% debido a que el País ha tenido una serie de impactos como las consecuencias por el caso de corrupción de la empresa Odebrecht y todo lo referente a este tema, que ha parado proyectos de inversión, así como problemas en el sector minero, problemas sociales y baja de la demanda interna.



Fuente: BCRP (2018)

Figura 4.6: Evolución porcentual del PBI de Perú.

Inversión en generación eléctrica

En los últimos años vemos un crecimiento en las inversiones de empresas estatales en el sector de distribución eléctrica. Los cuales bordean 100 millones. En el caso del sector privado las inversiones triplican el monto de inversión. El monto de inversión de la DGER (Electrificación rural, véase tabla 4.7), maneja un monto muy parecido a las inversiones de las empresas estatales.

EVOLUCIÓN DE INVERSIONES EJECUTADAS EN EL SECTOR ELECTRICIDAD EN MILLONES DE US\$

Año	Inversión Total	Empresas Estatales				Empresas Privadas				Electrificación Rural ¹
		Total	Generadoras	Transmisoras	Distribuidoras	Total	Generadoras	Transmisoras	Distribuidoras	
1995	295.2	154.7	38.4	11.4	104.9	66.2	7.6		58.5	74.3
1996	508.8	177.0	65.3	16.6	95.1	195.9	97.8		98.2	136.0
1997	594.2	207.9	103.2	32.7	71.9	339.7	240.2		99.5	46.6
1998	613.0	202.8	114.5	46.2	42.1	358.7	250.8	13.5	94.4	51.5
1999	764.2	201.7	136.3	31.3	34.1	507.8	280.9	139.5	87.4	54.6
2000	659.2	166.0	123.2	26.7	16.1	439.8	214.4	102.2	123.1	53.4
2001*	351.1	95.1	76.3	3.1	15.7	210.8	33.5	58.6	118.7	45.2
2002	259.5	109.9	77.8	0.4	31.7	132.3	30.0	37.3	65.0	17.3
2003	235.4	110.8	67.1		43.7	81.1	20.1	12.8	48.2	43.4
2004	323.8	116.1	67.0		49.1	168.6	92.6	24.4	51.6	39.1
2005	393.7	117.4	53.8		63.7	231.1	139.7	20.6	70.7	45.2
2006	480.2	95.7	29.2		66.5	350.5	260.4	16.5	73.5	34.0
2007	629.0	139.7	73.5		66.2	399.3	244.5	69.6	85.2	89.9
2008	862.0	128.9	26.5		102.4	633.6	457.0	43.1	133.5	99.5
2009	1 176.8	250.3	88.8		161.4	741.8	359.5	254.4	127.9	184.7
2010	1 367.7	165.6	25.1		140.5	978.8	533.5	332.6	112.7	223.4
2011	1 880.0	107.0	28.6		78.4	1 641.7	1 212.2	278.5	151.0	131.3
2012	2 738.9	121.6	35.3		86.3	2 467.4	1 746.1	470.3	251.0	149.9
2013	2 589.0	209.3	65.2		144.1	2 230.3	1 764.6	188.4	277.3	149.4
2014	2 777.6	178.3	62.1		116.2	2 488.3	1 959.2	244.0	285.1	111.0
2015	2 593.5	122.1	43.0		79.0	2 364.2	1 730.9	355.0	278.4	107.1
2016	1 798.2	127.0	27.0		100.0	1 601.8	938.9	398.3	264.7	69.4

Fuente: MINEM (2016)

Figura 4.7: Evolución de inversiones ejecutadas en el sector eléctrico.

Cobertura de Electrificación

En el año 2013, el coeficiente de electrificación rural a nivel País era del 70.2% uno de los más bajos de la región (Véase tabla 4.8)

País	Población sin electricidad (millones)	Coeficiente nacional de electrificación	Coeficiente de electrificación urbana	Coeficiente de electrificación rural
Argentina	1.5	96.4%	99.2%	66.2%
Bolivia	1.2	88.4%	95.6%	73.5%
Brasil	0.8	99.6%	100.0%	97.3%
Colombia	1.2	97.5%	99.8%	90.3%
Ecuador	0.5	97.0%	98.5%	94.4%
Paraguay	0.1	99.0%	99.8%	97.8%
Perú*	2.9	90.3%	96.0%	70.2%
Uruguay	0.0	99.4%	99.7%	93.8%
Venezuela	0.1	99.7%	99.8%	98.6%

Fuente: OSINERGMIN (2016a)

Figura 4.8: Niveles de electrificación en Sudamérica, 2013.

Sin embargo, hasta el año 2015, este coeficiente subió a un 78% (Véase tabla 4.9)

Coeficiente de electrificación	1993	1995	2000	2005	2010	2015
Nacional	56.8	60.5	68.5	72.8	82.0	93.9
Rural	7.7	14.8	23.2	28.2	55.0	78.0

Fuente: OSINERGMIN (2016a)

Figura 4.9: Evolución del coeficiente de electrificación 1993-2005.

Se proyecta que, para el año 2025, se logre llegar al 99.99% de electrificación a nivel nacional (Figura 4.10)

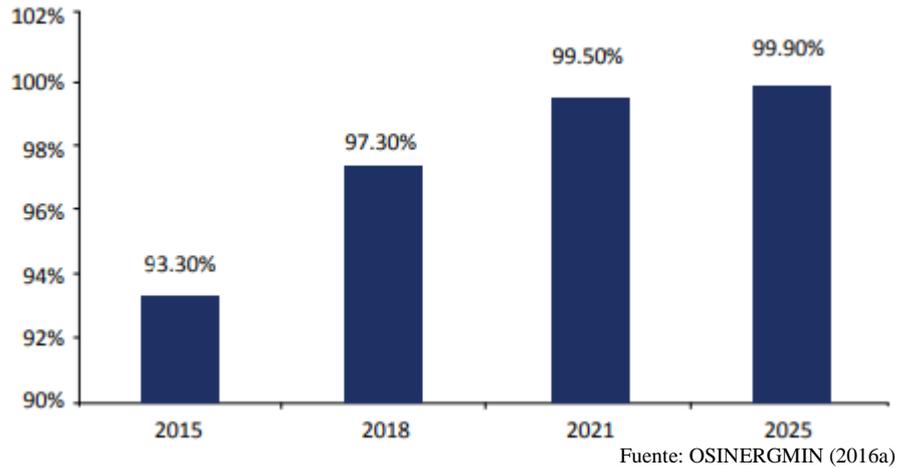


Figura 4.10: Proyección del coeficiente de electrificación al 2025.

Sin embargo, al 2018, Loreto es el departamento con menor índice de cobertura de electricidad y el que más tiene que pagar por US\$/kW.h (Figura 4.11)

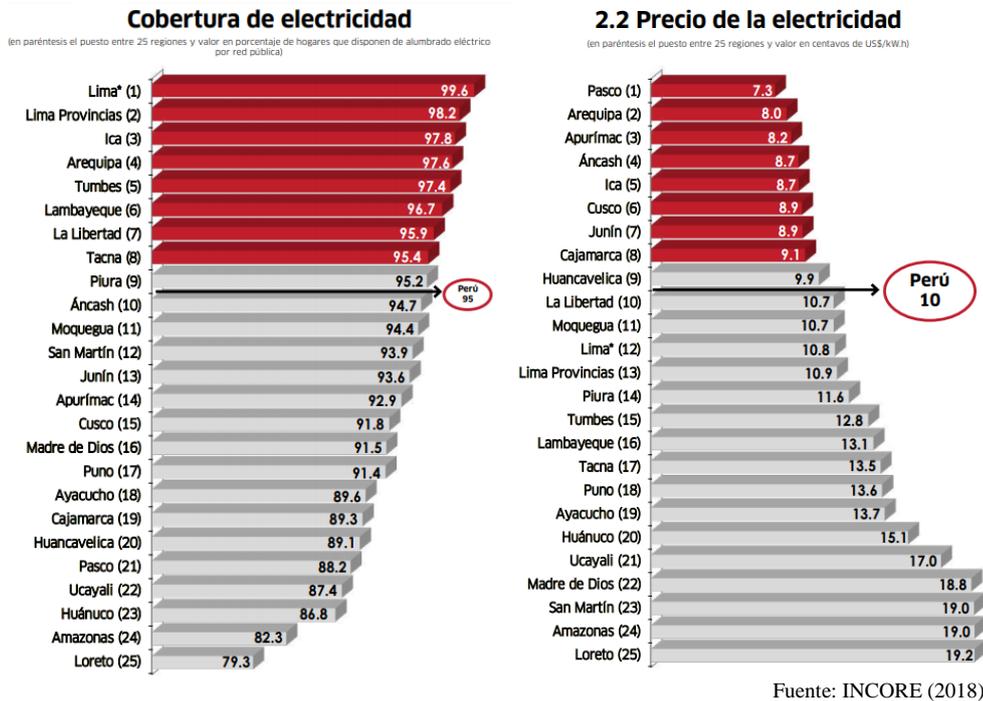
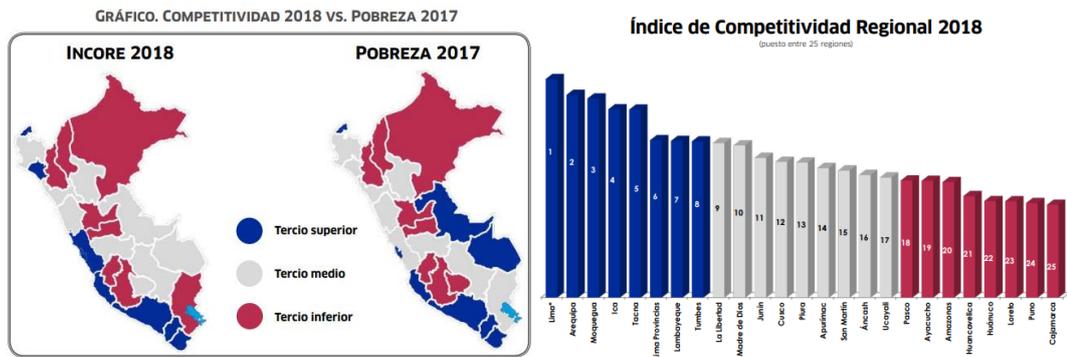


Figura 4.11: Cobertura y precio de la electricidad por Regiones.

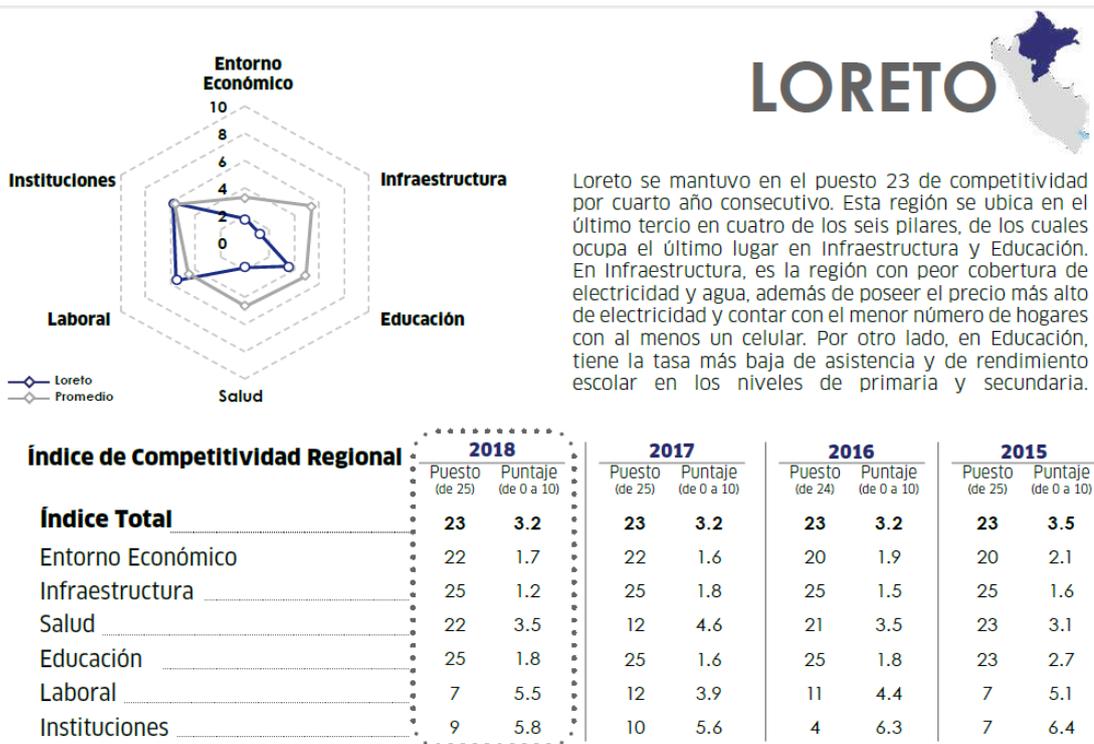
Índice de competitividad regional

Al 2018, Loreto es una de las ocho regiones con menos competitividad, así como una de las más pobres junto a Cajamarca y Puno (Véase gráfico 4.12). Como región sigue en el puesto 23, ocupa el último lugar en infraestructura y educación, así como la peor cobertura en electricidad y agua (Véase gráfico 4.13).



Fuente: INCORE (2018)

Figura 4.12: Gráfico de competitividad.



Fuente: INCORE (2018)

Figura 4.13: Análisis de competitividad de la región de Loreto.

Factores Políticos y Sociales

Electro Oriente es una empresa constituida como sociedad anónima, a cargo del FONAFE (Entidad encargada de normar y dirigir la actividad empresarial del Estado), la cual es influenciada por diversos factores políticos y legales. En el marco de políticas públicas se plantea: Un crecimiento del PBI mediante proyectos de infraestructura y mineros, así como contar un sistema energético que satisfaga la demanda, e impulse la electrificación rural.

Dentro de los factores sociales, FONAFE, considera importantes a tomar en cuenta en todas sus empresas al: crecimiento de la población, acceso a los servicios públicos como electrificación, agua y alcantarillado y conflictos sociales en el país.

4.3.3 Análisis interno

Inversiones

Durante el 2018, Electro Oriente invirtió alrededor de S/53.32 millones de soles (Véase figura 4.14), de los cuales el 54% correspondió a inversiones en la distribución (S/29.02 millones) que les ha permitido ejecutar proyectos de electrificación rural. Para el año 2019 han obtenido la viabilidad de distintos proyectos por un total S/23.15 millones y la DGER ha autorizado la transferencia de recursos por un total de S/19.8 millones para la ejecución de otros proyectos. (ELOR, 2018)

SISTEMA	INVERSIÓN EN PROYECTOS (Millones S./)							
	2018	%	2017	%	2016	%	2015	%
		Particip.		Particip.		Particip.		Particip.
Generación	-	0 %	-	0 %	-	0 %	-	0 %
Transmisión	24.30	46 %	4.13	67 %	1.51	9 %	11.46	46 %
Distribución	29.02	54 %	2.04	33 %	16.21	91 %	12.64	51 %
Estudios (*)	-	0 %	-	0 %	-	0 %	0.82	3 %
TOTAL	53.32	100 %	6.17	100 %	17.71	100 %	24.92	100 %

(*) Los estudios realizados en el 2018 no fueron considerados como Inversión por disposición de las NIIF.

Fuente: ELOR (2018)

Figura 4.14: Inversión en proyectos de electrificación a nivel nacional

Recursos Humanos

ELOR, cuenta hasta el momento con 415 trabajadores entre los cuales lo integran: Gerente General (1), Gerentes (7), Ejecutivos (48), Profesionales (82), Técnicos (204) y Administrativos (73). (ELOR, 2018)

4.3.4 Estrategias a implementar

En base a la información interna y externa analizada, la compañía ha definido el siguiente plan estratégico, el cual se encuentra alineado a la corporación FONAFE al cual pertenece (Véase tabla 4.15). De este cuadro podemos resaltar que se ha definido como objetivo mejorar la calidad del servicio de electricidad a sus clientes (que de acuerdo a lo analizado en el apartado 3.8, existen muchas viviendas que no cuentan con servicio eléctrico las 24 horas del día), así como el incremento del valor social y

ambiental (Todavía existen muchos centros poblados rurales sin acceso a la electricidad y otros que usan combustible como insumo y que daña el medio ambiente). Otro punto importante a analizar, es que un principal objetivo es, incrementar la creación del valor económico. (ELOR, 2018)

Perspectiva	Objetivos Estratégicos ELOR	Objetivos Estratégicos Corporativos FONAFE	Objetivos Estratégicos Sectoriales PESEM
Financiera	OEI 1. Incrementar la creación de valor económico	OEC 1. Incrementar la creación de valor económico	OES 1. Incrementar el desarrollo económico del país mediante el aumento de la competitividad del Sector Minero - Energético
Clientes y Grupos de Interés	OEI 2. Incrementar el valor social y ambiental	OEC 2. Incrementar el valor social y ambiental	OES 2. Disminuir el impacto ambiental de las operaciones minero - energéticas OES 3 Contribuir en el desarrollo humano y en las relaciones armoniosas de los actores del Sector Minero - Energético
	OEI 3. Mejorar la calidad del servicio	OEC 3. Mejorar la calidad de los bienes y servicios	OES 1. Incrementar el desarrollo económico del país mediante el aumento de la competitividad del Sector Minero - Energético
Procesos	OEI 4. Mejorar la eficiencia operativa	OEC 4. Mejorar la eficiencia operativa	OES 1. Incrementar el desarrollo económico del país mediante el aumento de la competitividad del Sector Minero - Energético
	OEI 5. Mejorar la gestión del portafolio de proyectos	OEC 5. Mejorar la gestión del portafolio de proyectos	OES 1. Incrementar el desarrollo económico del país mediante el aumento de la competitividad del Sector Minero - Energético
	OEI 6. Fortalecer el gobierno corporativo	OEC 6. Fortalecer el gobierno corporativo	OES 4 Fortalecer la gobernanza y la modernización del Sector Minero - Energético
	OEI 7. Fortalecer la gestión de la RSE	OEC 7. Fortalecer la gestión de la RSC	OES 2. Disminuir el impacto ambiental de las operaciones minero - energéticas OES 3 Contribuir en el desarrollo humano y en las relaciones armoniosas de los actores del Sector Minero - Energético
Aprendizaje	OEI 8. Fortalecer la gestión de talento humano y organizacional en la empresa	OEC 8. Fortalecer la gestión de talento humano y organizacional en la corporación	OES 4 Fortalecer la gobernanza y la modernización del Sector Minero - Energético

Fuente: ELOR (2018)

Figura 4.15: Objetivos estratégicos generales.

4.3.5 Medición y evaluación del desempeño

Al 2018, Electrooriente ejecutó en un 98.67% su plan operativo donde evalúan el avance de las metas planeadas que se encuentra alineado al plan estratégico 2017-2021. Un punto importante que se encuentra como indicador y todavía no se llega a la meta es el coeficiente de electrificación (Véase figura 4.16). Es así que es viable analizar una propuesta que permita mejorar el coeficiente de electrificación, que pueda ayudar a aumentar la rentabilidad patrimonial, margen operativo y mejore la calidad el servicio. (Fuente: ELOR)

INDICADOR	FORMULA	N°	Tipo	Und.	Ejecutado 2018	Meta 2018	Nivel de cumpl.
FINANCIERA							
OE 1. Incrementar la creación de valor económico.							
Rentabilidad Patrimonial	Ganancia (Pérdida) neta del ejercicio / Patrimonio del ejercicio x 100	1	CI	%	3.22	2.83	100.0
Margen Operativo	(Ganancia (Pérdida) operativa del ejercicio / Total de ingresos de actividades ordinarias del ejercicio) x 100	2	CI	%	7.22	6.24	100.0
CLIENTES Y GRUPOS DE INTERÉS							
OE 2. Incrementar la creación de valor social y Ambiental.							
Coefficiente de electrificación	[Nro. de clientes de uso residencial x Nro. de personas por familia] / Nro. de habitantes área de influencia x 100	3	CI	%	90.33	91.67	98.5
Cumplimiento del PAA	N° de actividades ejecutadas PAA/ Total de actividades programadas en el PAA x 100	4	CI	%	100.00	100.00	100.0
OE 3. Mejorar la Calidad del Servicio.							
SAFI	$\Sigma(\text{Usuarios afectados} \times \text{Número de interrupciones}) / \text{Total Usuarios}$	5	CR	%	6.10	6.80	100.0
SAIDI	$\Sigma(\text{Usuarios afectados} \times \text{Duración de la interrupción en horas}) / \text{Total Usuarios}$	6	CR	%	10.04	10.77	100.0
Cumplimiento del PAM - ISCAL	N° de actividades ejecutadas PAM- ISCAL/ Total de actividades programadas en el PAM- ISCAL x 100	7	CI	%	88.56	100.00	88.6
PROCESOS INTERNOS							
OE 4. Mejorar la eficiencia operativa.							
Pérdidas de energía en distribución	$(\text{Energía Total Entregada Distribución} - \text{Energía Total Ventas Distribución}) / \text{Energía Total Entregada Distribución} \times 100$	8	CR	%	10.27	9.55	93.0
Reducción de inventario inmovilizado	Inventario inmovilizado año actual / Inventario inmovilizado año anterior x 100	9	CR	%	66.48	50.00	100.0
Saneamiento patrimonial	Monto de patrimonio incorporado / Monto del patrimonio previsto a incorporar x 100	10	CI	%	-82.78	-3.00	100.0
OE 5. Mejorar la gestión del portafolio de proyectos.							
Eficiencia de inversiones FBK	N° de proyectos ejecutados en el periodo / N° de proyectos planificados en el periodo x 100	11	CI	%	100.00	100.00	100.0
OE 6. Fortalecer el gobierno corporativo.							
Cumplimiento Plan anual implementación del CBGC	N° de actividades ejecutadas PA - CBGC/ Total de actividades programadas en el PA - CBGC x 100	12	CI	%	38.70	35.23	100.0
Nivel de implementación del Sistema de Control Interno	Nivel de cumplimiento del SCI	13	CI	Nro	3.41	3.37	100.0
OE 7. Fortalecer la gestión de la responsabilidad social empresarial.							
Cumplimiento del PARSE	N° de actividades ejecutadas PA - RSE/ Total de actividades programadas en el PA - RSE x 100	14	CI	%	100.00	100.00	100.0
APRENDIZAJE							
OE 8. Fortalecer la gestión del talento humano y organizacional en la empresa							
Cumplimiento del PAM - CL	N° de actividades ejecutadas PAM - CL/ Total de actividades programadas en el PAM -CL x 100	15	CI	%	100.00	100.00	100.0
CI: Continuo de Incremento; CR: Continuo de Reducción.							98.67

Fuente: ELOR (2018)

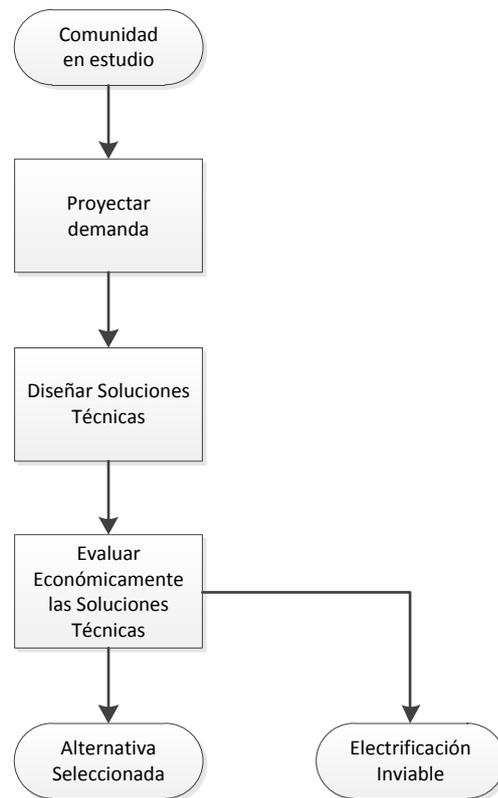
Figura 4.16: Plan operativo 2018 alineado al Plan estratégico 2017-2022.

4.3.6 Ética de negocio, responsabilidad social y sostenibilidad

Como empresa que brinda electricidad, está comprometida con la responsabilidad social. Dentro de sus objetivos estratégicos, se encuentra el fortalecimiento de la gestión de la responsabilidad social empresarial el cual es medido bajo el número de actividades ejecutadas vs actividades programadas en el PA-RSE (Políticas de responsabilidad social empresarial). Esto permitirá llegar a cumplir uno de los objetivos de Incremento del valor social y ambiental de sus clientes. (ELOR, 2018).

4.4 Proceso general de selección de alternativas de electrificación rural

El proceso de la selección de una alternativa para la electrificación de una comunidad rural, desde una óptica general, se puede observar en la Figura 4.17.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Proceso general de Electrificación Rural

El proceso mostrado en la Figura 4.17 es intuitivo y sigue las etapas que la gran mayoría de formulación de proyectos posee:

- Identificar la necesidad a atender. En el caso de la electrificación rural, la necesidad se traduce en los requerimientos de potencia y energía que la comunidad necesita desde la fecha actual hasta una fecha futura (típicamente un valor entre 10 y 20 años). El cálculo de estos requerimientos se denomina “Proyectar la demanda”.
- Plantear una solución que atienda la necesidad identificada. Históricamente, en el caso de la electrificación rural el abanico de soluciones técnicas posibles ha sido pequeño, lo que facilita el dimensionamiento de más de una solución. Este dimensionamiento se denomina “Diseñar soluciones técnicas”.

- Evaluar la viabilidad económica de las soluciones planteadas. Generalmente, las soluciones planteadas deben poseer una rentabilidad mayor que una mínima especificada para ser declaradas viables. Se selecciona la solución (alternativa) viable con mayor rentabilidad.

A continuación, se presenta la revisión bibliográfica realizada para identificar, dentro del mundo académico, las propuestas con potencial de aplicación dentro del proceso recientemente descrito.

4.5 Revisión bibliográfica sobre propuestas de evaluación técnica

A seguir se muestra un resumen de la revisión efectuada a la literatura especializadas referente a las opciones que actualmente se consideran en el mundo para la electrificación rural de comunidades en países en vías de desarrollo.

Brandon (2010) se plantea la utilización de los conceptos de Smart Grid para electrificar la sub-Sahara africana. Define la adaptación con el nombre de Just Grid. En base a la red de telecomunicaciones existentes propone Smart Políticas, Smart Planeamiento, Smart Sistemas y Operación, Smart Tecnologías y Smart Usuarios.

En Welsh et al. (2013), se detalla el planteamiento del concepto de Just Grid, analizando para cada iniciativa los requerimientos e impactos.

En Acharjee (2013), se presentan las ventajas de la utilización de Smart Grid en los sectores económico y social en la India; así como los principales obstáculos para su implementación, para finalmente proponer una estrategia para la implantación gradual.

En Mandelli (2016) se presenta un resumen de la revisión de 350 artículos publicados entre el 2000 y 2014, en 14 revistas de prestigio académico reconocido, referentes a la electrificación (no conectadas a la red principal) de comunidades rurales en países en vía de desarrollo. Este artículo concluye que las propuestas de las publicaciones revisadas pueden ser clasificadas en 5 tópicos: (i) Tecnología empleada, (ii) Modelos y métodos de simulación, (iii) Evaluación técnica – económica con análisis de sostenibilidad, (iv) casos de estudio, y (v) Análisis de políticas. Asimismo, este artículo determina que todas las soluciones se enmarcan dentro de 3 tipos: stand-alone, micro-grid e hybrid micro-grid, que son los equivalentes a sistemas fotovoltaicos domiciliarios, sistemas eléctrico rurales y sistemas híbridos

respectivamente. Este artículo dentro de su capítulo de tendencias, muestra que a pesar de que en el balance desde el 2000 el tema más estudiado han sido los sistemas fotovoltaicos domiciliarios, el número de publicaciones anuales sobre sistemas híbridos ha ido en creciendo llegando a superar a los SFD desde el 2013.

En Azimoh, Klintonberg, Wallina, Karlsson, Mbohwb (2016), se plantea la utilización de sistemas híbridos para electrificar zonas rurales pobres de Sudáfrica. (2 comunidades de ejemplo). Cuantifica los beneficios por actividades productivas asociadas generadas. Utiliza el programa HOMER para el dimensionamiento. Utiliza la TIR como medida de validación de la propuesta.

En Comello, Reichelstein, Sahoo y Schmidt (2017), se plantea que la electricidad es necesaria para el desarrollo de comunidades rurales y que los fondos públicos no son suficientes para atender a todas las comunidades rurales existentes. Se listan las principales causas que frenan una utilización masiva de mini-grids para la electrificación rural. Este trabajo demuestra que técnica y económicamente las mini-grid son una excelente alternativa frente a otras convencionales

En Kumar et al. (2018), se plantea una metodología que integra proyección de demanda, selección de fuentes de energía y análisis técnico – económico para la electrificación de comunidades rurales en la India (15 comunidades de ejemplo). Utiliza el programa HOMER para el dimensionamiento. Utiliza la TIR como medida de validación de la propuesta.

A continuación se detallan cada una de las tres etapas del proceso de selección de alternativas de electrificación, comentando cómo actualmente es realizado, así como también, en base a la revisión bibliográfica realizada, comentando cómo estas etapas podrían ser mejoradas.

4.6 Proyectar la demanda (AsIs)

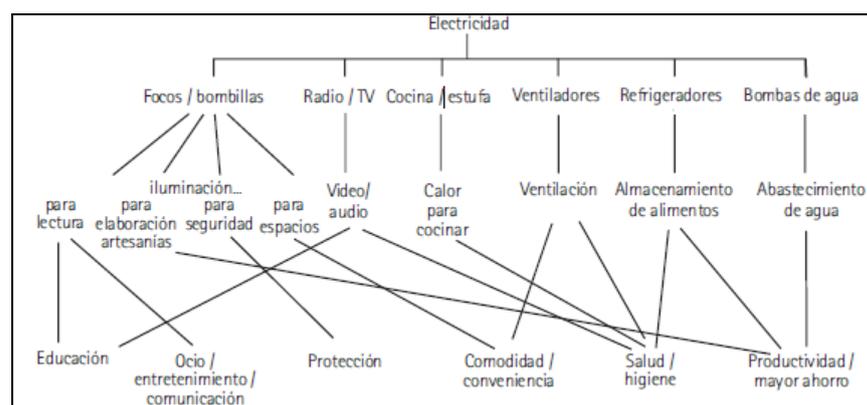
En el Perú, la metodología más utilizada para la proyección de la demanda rural es aquella que establece una relación funcional creciente entre el consumo de energía por abonado doméstico (consumo unitario de kWh/abonado) y el número de abonados estimados para cada año. Es decir, teniendo pre establecido un consumo de energía (kWh) para cada tipo de usuario, basta con determinar el crecimiento de las cantidades de usuarios.

Consumo típico de usuarios rurales

Según Urrunaga, Bonifaz, Aguirre, Aragón y Jara (2013), los usuarios pueden ser agrupados en 3 tipos según el uso de la electricidad que efectúan (para uso doméstico, para uso comunitario y para uso productivo). Para cada uno de estos tipos es posible identificar los equipos eléctricos a utilizar. Como cada equipo tiene un consumo pre-establecido, en función a la frecuencia mensual de utilización de cada equipo, es posible calcular las necesidades de potencia y energía mensuales para cada uno de los usuarios típicos. Bajo un enfoque tradicional, el valor de potencia máxima y de la energía acumulada por año, son los datos que serán reutilizados en las siguientes etapas.

A seguir se detallan las características de cada uno de los usuarios típicos.

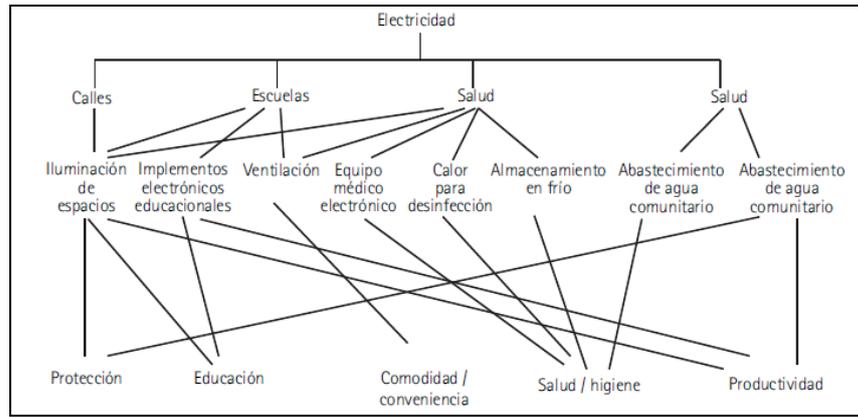
- **Uso doméstico:** Con el objetivo de iluminar los hogares, en la noche poder realizar más actividades y ser más productivos en las mañanas, poder ver tv/radio, para uso de entretenimiento, para fines educativos y poder tener más acceso a la información, para poder conservar los alimentos y reducir los tiempos de preparación de los alimentos, mejorar la productividad, entre otros. (Véase tabla 4.18)



Fuente: (Urrunaga, 2013)

Figura 4.18: Uso doméstico de electricidad en zonas rurales

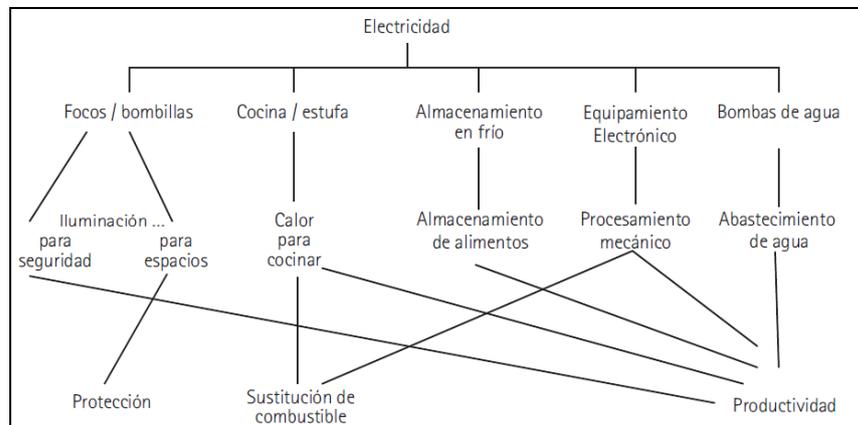
- **Uso comunitario:** Con el objetivo de iluminar las calles brindando mayor protección a los pobladores, mejorando la productividad de los docentes al poder usar equipos multimedia, mejorando la productividad de los centros médicos usando equipos electrónicos y mejor iluminación, entre otros. (Véase tabla 4.19)



Fuente: (Urrunaga, 2013)

Figura 4.19: Uso comunitario de la electricidad en zonas rurales

- **Uso productivo:** Ya que la electricidad puede generar beneficios indirectos como incrementa y/o expandir el comercio de los pobladores de una comunidad rural. (Véase tabla 4.20)



Fuente: (Urrunaga, 2013)

Figura 4.20: Uso de productivo de la electricidad en zonas rurales.

En la Figura 4.21 se puede observar los consumos característicos de cada artefacto eléctrico (OSINERGMIN, 2019).

• Cocina eléctrica de 4 hornillas 4500 W	• Lavadora 500 W
• Ducha eléctrica 4000 W	• Electrobomba 375 W (1/2 HP)
• Terma 1500 W	• Computadora 300 W
• Secadora de cabello 1200 W	• Refrigeradora 250 W
• Aspiradora 1200 W	• TV 20" 120 W
• Microondas 1100 W	• Equipo de sonido 80 W
• Plancha 1000 W	• Ventilador 50 W
• Licuadora 900 W	• Laptop 35W
• Olla arrocera 2.2 L 900 W	• DVD 20 W
• Cafetera 800 W	• Smartphone 5 W

Fuente: (OSINERGMIN, 2019)

Figura 4.21: Consumo (Watts) de artefactos eléctrico

Proyección del crecimiento de los usuarios

La proyección de los abonados se realiza utilizando la metodología MONENCO. Esta metodología determina la demanda de un período basado en la demanda del periodo anterior y una tasa de crecimiento, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$P_f = P_i * (1 + i)^t$$

Donde:

P _f	Población final
P _i	Población Inicial
I	Tasa de crecimiento Anual
T	Número de años de la proyección

Para la utilización de la ecuación recientemente mostrada, la población inicial y la tasa de crecimiento se obtienen del INEI, mientras que el número de años es típicamente un valor que varía entre 10 y 20 años.

4.7 Proyectar la demanda (ToBe)

Para el presente trabajo, para proyectar la demanda, se utiliza todo lo explicado en la sección anterior con la diferencia que el consumo no se calcula directamente de forma mensual, sino horaria. Ya que el cálculo mensual es un resultado de la acumulación horaria correspondiente.

Para la realización del cálculo horario, los 3 tipos descritos en la sección anterior son desagregados en un nivel más tal como mostrado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Tipos de usuarios

Uso doméstico	Familias con refrigeradora
	Familias sin refrigeradora
Uso productivo	Tiendas
	Hospedajes
Uso de la comunidad	Escuela
	Comisaria
	Iglesia
	Centro de salud
Alumbrado P.	Alumbrado público

Fuente: Elaboración Propia

Para efectos de esta investigación, se consideran los artefactos eléctricos listados en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2: Tipos de equipos eléctricos

Focos/Bombillas	Focos
Equipos Comunicación	Radio
	Televisor LCD de 20 Pulgadas
	Equipo de sonido
	Computador de Mesa
	Cargador con celular conectado
Cocina	Licudadora
	Horno Microondas
Ventilador	Ventilador
Refrigerador	Refrigerador
Bombas de agua	Bomba para agua

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos mostrados en la Tabla 4.1 y 4.2 se procede a determinar el consumo en una hora, por tipo de usuario, de cada equipo eléctrico. Estos consumos se pueden visualizar en la figura 4.22.

EQUIPO	Focos/Bombillas	Equipos Comunicación					Cocina		Ventilador	Refrig.	Bombas de agua	
		Focos	Radio	Televisor LCD de 20 Pulgadas	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador con celular conectado	Licudadora	Horno Microondas	Ventilador	Refrigerador	Bomba para agua
VIVIENDA DOMÉSTICA CON REFRIGERADORA	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	3	1	1	1	1	1	1	-	1	1	-
	% Uso hora	1	1	1	0.5	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.021	0.020	0.120	0.080	0.140	0.005	0.900	-	0.050	0.350	-
VIVIENDA DOMÉSTICA SIN REFRIGERADORA	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	3	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
	% Uso hora	1	1	1	0.5	1	1	0.083	0.083	1	0.39	0
	kW Total	0.021	0.020	0.120	0.080	0.140	0.005	0.900	-	0.050	-	-
TIENDA	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	3	-	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	% Uso hora	1	1	1	1	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.021	-	0.120	0.080	0.140	0.005	0.900	0.900	0.050	0.700	0.375
HOSPEDAJE (5 habitaciones)	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	10	-	5	1	5	5	1	1	5	1	1
	% Uso hora	1	1	1	1	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.070	-	0.600	0.080	0.140	0.025	0.900	0.900	0.250	0.350	0.375
ESCUELA	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	8	-	1	1	14	1	-	-	-	-	-
	% Uso hora	1	1	1	0.5	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.056	-	0.120	0.080	1.960	0.005	-	-	-	-	-
COMISARIA	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	5	1	1	-	2	2	-	-	1	-	-
	% Uso hora	1	1	1	1	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.035	0.020	0.120	-	0.280	0.010	-	-	0.050	-	-
IGLESIA	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	4	-	1	1	1	1	-	-	1	-	-
	% Uso hora	1	1	1	1	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.028	-	0.120	0.080	0.140	0.005	-	-	0.050	-	-
CENTRO DE SALUD	kW	0.007	0.02	0.12	0.08	0.14	0.005	0.9	0.9	0.05	0.35	0.375
	Cantidad	4	1	1	-	1	2	-	-	1	-	-
	% Uso hora	1	1	1	1	1	1	0.083	0.083	1	0.39	1
	kW Total	0.028	0.020	0.120	-	0.140	0.010	-	-	0.050	-	-
ALUMBRADO PÚBLICO	kW	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cantidad	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	% Uso hora	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kW Total	0.070	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Consumo por equipo por hora para una vivienda con refrigeradora.

Utilizando el consumo horario, por cada tipo de usuario, de cada equipo eléctrico; se procede a determinar para cada una de las horas si el equipo es utilizado o no. Esto último nos permite obtener un diagrama de carga diario por cada tipo de usuario (figuras 4.23 a la 4.31).

VIVIENDA DOMÉSTICA CON REFRIGERADORA												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kWh]
0										0.137		0.14
1										0.137		0.14
2										0.137		0.14
3										0.137		0.14
4										0.137		0.14
5	0.021									0.137		0.16
6	0.021									0.137	-	0.16
7	0.014	0.020								0.137	-	0.17
8		0.020								0.137		0.16
9		0.020								0.137		0.16
10										0.137		0.14
11			0.120							0.137		0.26
12	0.007		0.120				0.075			0.137		0.34
13										0.137		0.14
14				0.040						0.137		0.18
15										0.137		0.14
16										0.137		0.14
17	0.007								0.050	0.137		0.19
18	0.014		0.120		0.140				0.050	0.137		0.46
19	0.021		0.120		0.140				0.050	0.137		0.47
20	0.021		0.120		0.140	0.005			0.050	0.137		0.47
21	0.021		0.120		0.140	0.005				0.137		0.42
22	0.021					0.005				0.137		0.16
23										0.137		0.14
kWh/d	0.17	0.06	0.72	0.04	0.56	0.02	0.07	-	0.20	3.28	-	5.11

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Consumo típico horario para vivienda con refrigeradora.

VIVIENDA DOMÉSTICA SIN REFRIGERADORA												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kWh]
0												0.00
1												0.00
2												0.00
3												0.00
4												0.00
5	0.021											0.02
6	0.021										-	0.02
7	0.014	0.020									-	0.03
8		0.020										0.02
9		0.020										0.02
10												0.00
11			0.120									0.12
12	0.007		0.120				0.075					0.20
13												0.00
14				0.040								0.04
15												0.00
16												0.00
17	0.007								0.050			0.06
18	0.014		0.120		0.140				0.050			0.32
19	0.021		0.120		0.140				0.050			0.33
20	0.021		0.120		0.140	0.005			0.050			0.34
21	0.021		0.120		0.140	0.005						0.29
22	0.021					0.005						0.03
23												0.00
kWh/d	0.17	0.06	0.72	0.04	0.56	0.02	0.07	-	0.20	-	-	1.84

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Consumo típico horario para vivienda sin refrigeradora.

TIENDA												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kWh]
0										0.273		0.27
1										0.273		0.27
2										0.273		0.27
3										0.273		0.27
4										0.273		0.27
5	0.021									0.273		0.29
6	0.021									0.273		0.29
7							0.075		0.050	0.273	0.375	0.77
8									0.050	0.273		0.32
9									0.050	0.273		0.32
10				0.080					0.050	0.273		0.40
11			0.120						0.050	0.273		0.44
12			0.120				0.075	0.075	0.050	0.273	0.375	0.97
13			0.120						0.050	0.273		0.44
14				0.080					0.050	0.273		0.40
15				0.080					0.050	0.273		0.40
16	0.021		0.120						0.050	0.273		0.46
17	0.021		0.120					0.075	0.050	0.273		0.54
18	0.021		0.120		0.140			0.075	0.050	0.273		0.68
19	0.021		0.120		0.140			0.075	0.050	0.273		0.68
20	0.021		0.120		0.140		0.075		0.050	0.273	0.375	1.05
21	0.021		0.120			0.005			0.050	0.273		0.47
22	0.021		0.120			0.005			0.050	0.273		0.47
23	0.021		0.120			0.005			0.050	0.273		0.47
kWh/d	0.21	-	1.32	0.24	0.42	0.02	0.22	0.30	0.85	6.55	1.13	11.25

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Consumo típico horario para tienda.

HOSPEDAJE												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kWh]
0										0.137		0.14
1										0.137		0.14
2										0.137		0.14
3										0.137		0.14
4										0.137		0.14
5	0.070									0.137		0.21
6	0.070									0.137		0.21
7					0.140		0.075		0.250	0.137	0.375	0.98
8					0.140				0.250	0.137		0.53
9					0.140				0.250	0.137		0.53
10				0.080	0.140				0.250	0.137		0.61
11			0.600		0.140				0.250	0.137		1.13
12			0.600		0.140		0.075	0.075	0.250	0.137	0.375	1.65
13			0.600		0.140				0.250	0.137		1.13
14				0.080	0.140				0.250	0.137		0.61
15				0.080	0.140				0.250	0.137		0.61
16	0.070		0.600		0.140				0.250	0.137		1.20
17	0.070		0.600		0.140			0.075	0.250	0.137		1.27
18	0.070		0.600		0.140			0.075	0.250	0.137		1.27
19	0.070		0.600		0.140			0.075	0.250	0.137		1.27
20	0.070		0.600		0.140		0.075		0.250	0.137	0.375	1.65
21	0.070		0.600		0.140	0.025			0.250	0.137		1.22
22	0.070		0.600		0.140	0.025			0.250	0.137		1.22
23	0.070		0.600		0.140	0.025			0.250	0.137		1.22
kWh/d	0.70	-	6.60	0.24	2.38	0.08	0.22	0.30	4.25	3.28	1.13	19.17

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Consumo típico horario para hospedaje.

ESCUELA												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Proyector	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licuadora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kW/h]
0												0.00
1												0.00
2												0.00
3												0.00
4												0.00
5												0.00
6												0.00
7												0.00
8	0.056				1.960							2.02
9	0.056		0.120		1.960							2.14
10	0.056				1.960	0.005						2.02
11	0.056		0.120		1.960							2.14
12	0.056		0.120		1.960							2.14
13			0.120									0.12
14	0.056				0.140	0.005						0.20
15	0.056				0.140	0.005						0.20
16			0.120		0.140							0.26
17			0.120	0.040	0.140							0.30
18	0.056		0.120	0.040	0.140							0.36
19	0.056		0.120									0.18
20	0.056		0.120									0.18
21												0.00
22												0.00
23												0.00
kWh/d	0.56	-	1.08	0.08	10.50	0.02	-	-	-	-	-	12.24

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Consumo típico horario para escuela.

COMISARIA												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licuadora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kW/h]
0	0.035				0.280							0.32
1	0.035				0.280							0.32
2	0.035				0.280							0.32
3	0.035				0.280							0.32
4	0.035				0.280							0.32
5	0.035				0.280							0.32
6	0.035				0.280							0.32
7		0.020	0.120		0.280				0.050			0.47
8		0.020	0.120		0.280				0.050			0.47
9			0.120		0.280				0.050			0.45
10			0.120		0.280				0.050			0.45
11			0.120		0.280				0.050			0.45
12			0.120		0.280				0.050			0.45
13			0.120		0.280				0.050			0.45
14			0.120		0.280				0.050			0.45
15			0.120		0.280				0.050			0.45
16	0.035		0.120		0.280				0.050			0.49
17	0.035		0.120		0.280				0.050			0.49
18	0.035		0.120		0.280				0.050			0.49
19	0.035		0.120		0.280				0.050			0.49
20	0.035		0.120		0.280				0.050			0.49
21	0.035		0.120		0.280	0.010			0.050			0.50
22	0.035		0.120		0.280	0.010			0.050			0.50
23	0.035		0.120		0.280	0.010			0.050			0.50
kWh/d	0.53	0.04	2.04	-	6.72	0.03	-	-	0.85	-	-	10.21

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Consumo típico horario para comisaria.

IGLESIA												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kW/h]
0												0.00
1												0.00
2												0.00
3												0.00
4												0.00
5												0.00
6												0.00
7												0.00
8												0.00
9												0.00
10												0.00
11												0.00
12												0.00
13												0.00
14												0.00
15												0.00
16												0.00
17												0.00
18												0.00
19	0.028		0.120	0.080		0.005			0.050			0.28
20	0.028		0.120	0.080		0.005			0.050			0.28
21	0.028		0.120	0.080		0.005			0.050			0.28
22												0.00
23												0.00
kWh/d	0.08	-	0.36	0.24	-	0.02	-	-	0.15	-	-	0.85

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Consumo típico horario para iglesia.

CENTRO DE SALUD												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kW/h]
0	0.028				0.140							0.17
1	0.028				0.140							0.17
2	0.028				0.140							0.17
3	0.028				0.140							0.17
4	0.028				0.140							0.17
5	0.028				0.140							0.17
6	0.028				0.140							0.17
7	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
8	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
9	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
10	0.028		0.120		0.140				0.050			0.34
11	0.028		0.120		0.140				0.050			0.34
12	0.028		0.120		0.140				0.050			0.34
13	0.028		0.120		0.140				0.050			0.34
14	0.028		0.120		0.140				0.050			0.34
15	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
16	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
17	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
18	0.028	0.020			0.140				0.050			0.24
19	0.028		0.120		0.140	0.010			0.050			0.35
20	0.028		0.120		0.140	0.010			0.050			0.35
21	0.028		0.120		0.140	0.010			0.050			0.35
22	0.028		0.120		0.140	0.010			0.050			0.35
23	0.028				0.140				0.050			0.22
kWh/d	0.67	0.14	1.08	-	3.36	0.04	-	-	0.85	-	-	6.14

Fuente: Elaboración propia

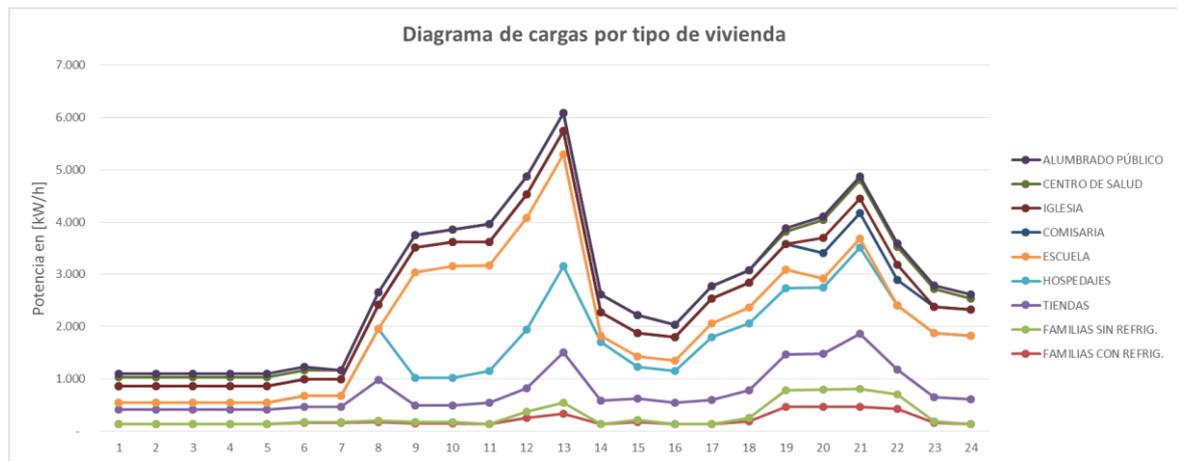
Figura 4.30: Consumo típico horario para centro de salud.

ALUMBRADO PÚBLICO												
Hora	Bombillos (# Bomb. Prendidos al tiempo)	Radio	Televisor 20"	Equipo de sonido	Computador de Mesa	Cargador de Celular	Licudadora	Horno Microondas	Ventilador	Nevera	Bomba de agua	Demanda [kWh]
0	0.070											0.07
1	0.070											0.07
2	0.070											0.07
3	0.070											0.07
4	0.070											0.07
5	0.070											0.07
6												0.00
7												0.00
8												0.00
9												0.00
10												0.00
11												0.00
12												0.00
13												0.00
14												0.00
15												0.00
16												0.00
17												0.00
18	0.070											0.07
19	0.070											0.07
20	0.070											0.07
21	0.070											0.07
22	0.070											0.07
23	0.070											0.07
kWh/d	0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.84

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Consumo típico horario para alumbrado público.

El resultado de la aplicación de lo explicado recientemente, se puede observar en la figura 4.32.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Curva típica de demanda por tipo de vivienda

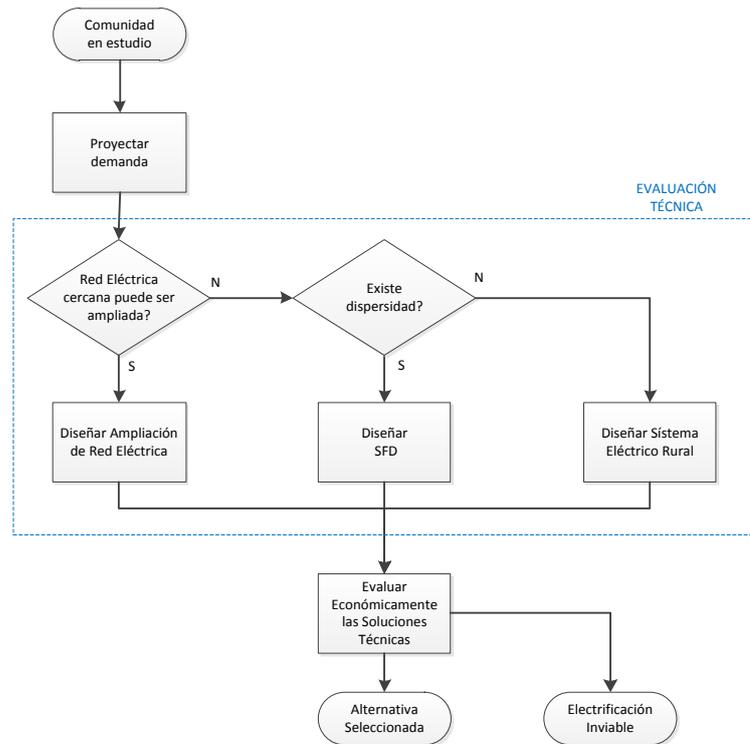
Los requerimientos de demanda (potencia y energía) de cualquier comunidad rural en Loreto pueden ser obtenidas con la utilización de las curvas típicas de demanda mostradas. Para ello, basta con determinar las cantidades existentes dentro de la comunidad de cada tipo de usuarios y multiplicar estos valores por sus correspondientes diagramas de carga.

Estas curvas típicas de demanda también pueden ser utilizadas para los estudios de comunidades rurales fuera de Loreto. Para ello se requerirían leves modificaciones que consideren los hábitos de consumo de la zona en estudio.

4.8 Evaluación técnica (As Is)

En la Figura 6.17 se puede observar el detalle del proceso de Evaluación Técnica de alternativas. Una revisión del Plan Nacional de Electrificación Rural 2016 – 2025 (2016), permite determinar que básicamente los diversos agentes manejan 3 alternativas de electrificación:

- **Ampliación de la Red Existente.** Si la comunidad se encuentra cercana al sistema eléctrico interconectado, la mejor considerada ha sido la ampliación de la red eléctrica, a través de una red primaria y secundaria, de forma que abastezca también a la comunidad.
- **Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios:** Si la comunidad se encuentra lejana al sistema eléctrico interconectado, y a su vez las viviendas se encuentran muy alejadas entre ellas (dispersidad), la mejor opción considerada ha sido la instalación de un sistema fotovoltaico por cada domicilio.
- **Sistemas Eléctricos Rurales.** Si la comunidad se encuentra lejana al sistema eléctrico interconectado y las viviendas se encuentran cercanas entre ellas (es decir, no hay dispersidad), la mejor opción considerada ha sido la instalación de un sistema eléctrico rural compuesto por una única fuente de generación, una red primaria y una red secundaria.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Evaluación Técnica (As Is)

En el Plan Nacional de Electrificación Rural 2016-2025 (2016) se estimaba que las inversiones en electrificación rural a realizar en el próximo decenio, para beneficiar 3 380 993 habitantes, sumarían S/. 4236.4 millones, tal como detalladas en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: PNER 2016 - 2025 -Inversiones

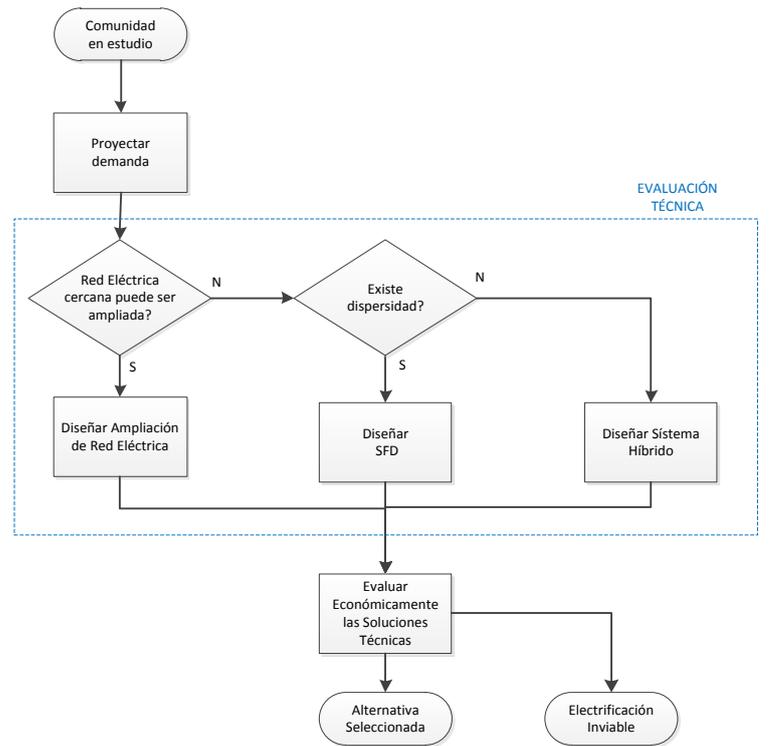
Tipo de Proyectos	Inversión (Millones de Soles)
Ampliación de redes	435.4
Sistemas Fotovoltaicos	1 285. 4
Sistemas Eléctricos Rurales	2 515.6
Total (S/. MM)	4 236.4

Fuente: Adaptado del PNER 2016 – 2025

4.9 Evaluación técnica (To Be)

Para el presente trabajo, para efectuar la evaluación técnica, se utiliza todo lo explicado en la sección anterior con la diferencia que en lugar de diseñar un Sistema Eléctrico Rural (con una única fuente de generación), se propone diseñar un Sistema Eléctrico Híbrido (con varias fuentes de generación). El caso particular de un sistema

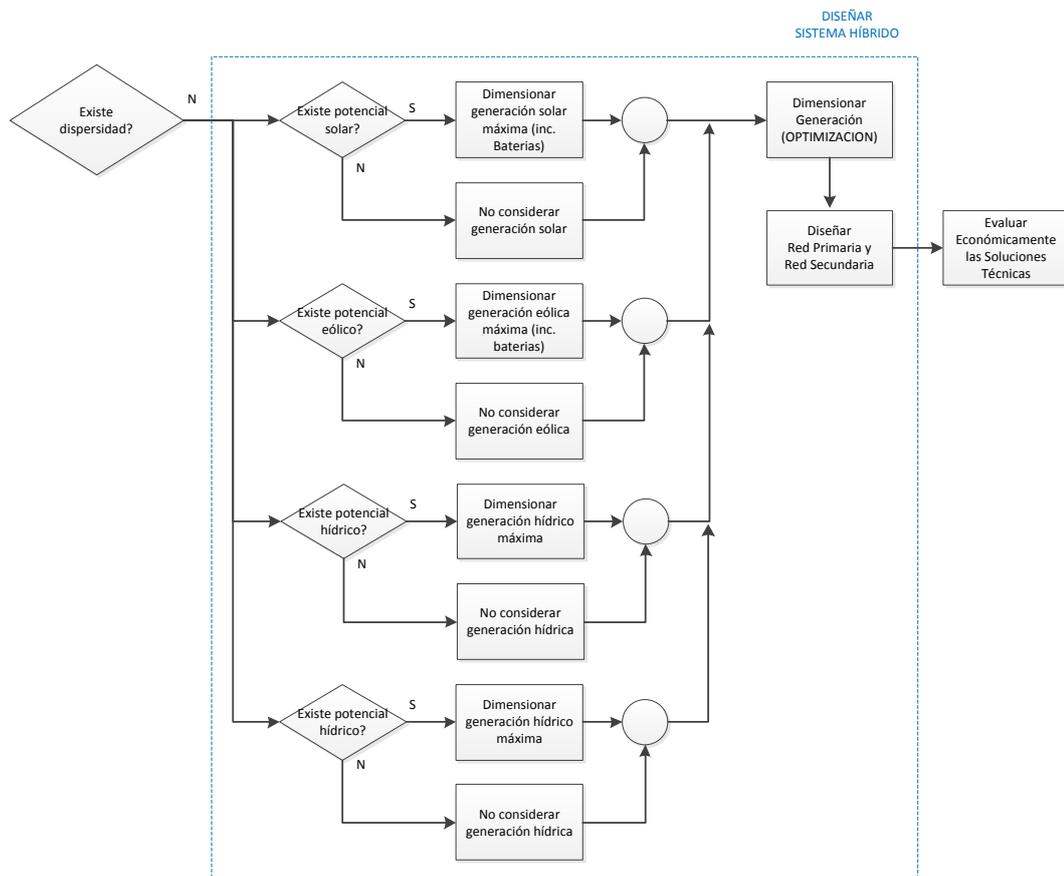
híbrido con una única fuente de generación corresponde al sistema eléctrico rural (Figura 4.34)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.34: Evaluación Técnica (To Be)

El detalle del bloque “Diseñar Sistema Híbrido” mostrado en la Figura 6.18, puede ser observado en la Figura 4.35.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.35: Diseñar Sistema Híbrido

Para los casos en que no exista red cercana y no exista dispersidad, se procede a diseñar un sistema híbrido. El diseño se efectúa con una optimización de todas las fuentes energéticas disponibles, utilizando el programa HOMER (Homer, 2019). El HOMER formula el problema de diseño del sistema híbrido como un problema de minimización de costo total (costo de inversión más costo de operación). El costo de inversión corresponde al CAPEX del proyecto. El costo de operación representa otro problema de optimización en el cual se minimiza el OPEX de las instalaciones consideradas dentro del CAPEX. Para una central térmica el principal componente del OPEX es el costo del combustible; mientras que para las centrales hidráulicas, eólicas y solares el principal componente es el costo de oportunidad de utilizar o no la fuente energética disponible. Para una batería el principal componente del OPEX también es el costo de oportunidad de cargar o descargar este componente. Al tratarse de sistemas pequeños, todo el problema (minimización del costo total) puede ser resuelto como un único problema de optimización, algo que aún no es posible realizar para sistemas de orden nacional, como el SEIN por ejemplo.

Potencial Energético

Las fuentes energéticas consideradas son:

- **Potencial solar.** Se evalúa si existe potencial solar. Caso exista, se utilizará como opción para el sistema híbrido, caso contrario, se desconsidera la generación solar.
- **Potencial eólico.** Se evalúa si existe potencial eólica (viento) cercano. Caso exista, se utilizará como opción para el sistema híbrido, caso contrario, se desconsidera la generación eólica.
- **Potencial hídrico.** Se evalúa si existe potencial hídrico (río con caudal o catarata) cercano. Caso exista, se utilizará como opción para el sistema híbrido, caso contrario, se desconsidera la generación hídrica.
- **Potencial térmico.** Se evalúa si existe potencial térmico (posibilidad de compra y transporte de combustible). Caso exista, se utilizará como opción para el sistema híbrido, caso contrario, se desconsidera la generación térmica.

Dimensionar generación

Se utiliza un programa de optimización estocástica, denominado HOMER para el dimensionamiento de cada una de las fuentes de generación consideradas.

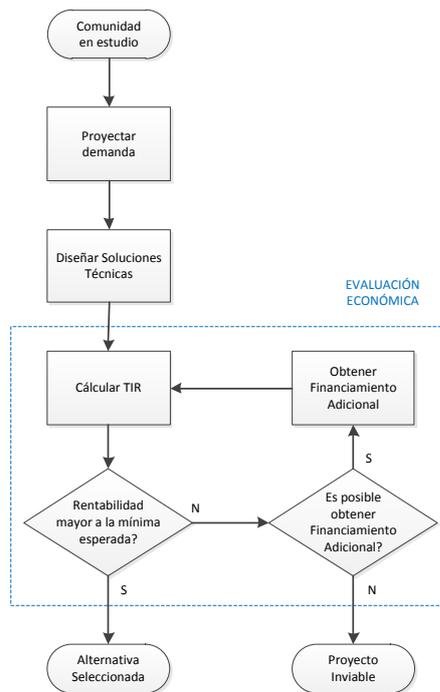
Diseñar Red Primaria y Red Secundaria

El diseño de las redes primarias y secundarias se mantiene igual a las consideradas en el proceso original (As Is).

Una vez dimensionado el sistema híbrido se debe proceder a cuantificar los costos y beneficios incrementales que corresponden a este proyecto de electrificación. Este detalle se comenta en la sección posterior.

4.10 Evaluación económica

Se requiere realizar un análisis económico para evaluar costos y ganancias de un proyecto. En la evaluación se considerará la valoración de los costos y de los beneficios sociales de un proyecto, tal como mostrado en la Figura 4.36.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Evaluación Económica

Para poder determinar los beneficios y costos del proyecto, éste dependerá bajo qué enfoque queremos evaluarlo: Bajo un enfoque privado o bajo un enfoque social.

4.10.1 Evaluación Privada

Bajo este enfoque, se estiman los costos y beneficios bajo un criterio empresarial ya que pretende medir la eficiencia de la inversión involucrada en el proyecto (capital social)

Costos incrementales privados

- **Inversión inicial (CAPEX)**

Para calcular el monto de la inversión inicial, debemos partir por conocer cuantos suministros de materiales necesitaremos en el proyecto (número de equipos generadores, fotovoltaicos, baterías, convertidores) y multiplicarlo por el costo unitario de cada uno de ellos (valor A, véase tabla 4.37). Luego de ello, asignaremos un porcentaje que será proporcional al costo total de los suministros a utilizar. Podemos decir entonces, que la inversión inicial se basa en el cálculo de los siguientes ítems:

INVERSIÓN INICIAL		COSTO DIRECTO	Suministro de Materiales	A		
			Nacional			
			Importado			
			Obras Civiles			
			Mano de Obra Calificada	20.00%	de (A)	
			Mano de Obra No Calificada	5.00%	de (A)	
			Especial - Obra Civil	2.00	de (A)	
			Montaje Electromecánico			
			Mano de Obra Calificada	10.00%	de (A)	
			Mano de Obra No Calificada	5.00%	de (A)	
			Especial - Montaje Elect.			
			Transporte			
			Transporte de Materiales	2.00%	de (A)	
		COSTO DIRECTO				
		COSTO INDIRECTO	Supervisión de Obra	5.00%	de (A)	
			Estudios Generales	0.00%	de (A)	
			Gastos Generales	10.00%	de (A)	
Utilidades	5.00%		de (A)			
COSTO INDIRECTO						

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Inversión privada - Costos involucrados

- **Costos de operación y mantenimiento (OPEX)**

Estos costos pueden ser de dos tipos: fijos y variables. En este punto se deberá calcular los costos que implica operar y mantener los distintos equipos que se necesitarán dentro del proyecto como: generadores, fotovoltaicos, baterías y convertidores (horas hombre x cantidad de horas de trabajo, costos de los insumos como combustible, energía, potencia). Estos costos deberán ser calculados proporcionalmente a la cantidad de energía mínima requerida para cada año, por lo que su valor deberá ser diferente.

Beneficios incrementales privados

Estos ingresos deberán calcularse en base a la proyección de demanda que se determinará a los abonados por cada tipo de vivienda (Doméstico, comercial y de uso comunitario) y la demanda por alumbrado público. El cálculo de determinará por el total de energía a demandar al año en kW/h multiplicado por la tarifa de venta de energía en kW/h considerando el IGV.

Indicador de rentabilidad privada

Una vez elaborados los beneficios incrementales sociales y costos incrementales privados a precios anuales, se calcula los indicadores de rentabilidad. Valor Actual

Social (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) tomando en cuenta una tasa de descuento de 12%

4.10.2 Evaluación Social

Bajo este enfoque, se estiman los costos y beneficios bajo un criterio meramente social, ya que se pretende medir el rendimiento de la inversión mediante los beneficios sociales que generará el proyecto

Costos incrementales sociales

- **Inversión inicial (CAPEX)**

El cálculo de la inversión inicial social se calcula de la misma manera que se deduce en la inversión privada (véase ítem 4.38), adicionando un factor de corrección, el cual se obtiene del anexo SNIP -10 “Parámetros de evaluación” disponible en la página del MEF, sección inversión pública, instrumentos metodológicos del sector energía.

$$\text{Costo Social} = \text{Costo a precios privados} \times \text{factor de corrección}$$

Podemos decir entonces, que la inversión inicial se basa en el cálculo de los siguientes ítems:

INVERSIÓN INICIAL		COSTO DIRECTO	Suministro de Materiales	A		Factor Social		
			Nacional			0.848		
			Importado			0.915		
			Obras Civiles					
			Mano de Obra Calificada	20.00%	de (A)	0.870		
			Mano de Obra No Calificada	5.00%	de (A)	0.490		
			Especial - Obra Civil	2.00	de (A)	0.870		
			Montaje Electromecánico					
			Mano de Obra Calificada	10.00%	de (A)	0.870		
			Mano de Obra No Calificada	5.00%	de (A)	0.490		
			Especial - Montaje Elect.			0.870		
			Transporte					
			Transporte de Materiales	2.00%	de (A)	1.000		
			COSTO DIRECTO					
		COSTO INDIRECTO	Supervisión de Obra	5.00%	de (A)	0.848		
			Estudios Generales	0.00%	de (A)	0.848		
			Gastos Generales	10.00%	de (A)	0.848		
			Utilidades	5.00%	de (A)	0.769		
			COSTO INDIRECTO					

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Inversión social - Costos involucrados.

Beneficios incrementales sociales

El cálculo de los beneficios sociales se mide a través del ahorro de recursos y disposición a pagar por el servicio de energía eléctrica.

Para la estimación de estos beneficios incrementales, se debe tomar los datos del trabajo de campo NRECA International que fue elaborado en el año 1999 y donde se estimó los consumos anuales y los beneficios por concepto de iluminación, radio y televisión de los pobladores rurales (figura 4.39). Como estos precios corresponden al año 1999, éstos deben ser actualizados a precios del año 2019 dividiendo el IPC del año 1999 entre el IPC del año 2019.

Asimismo, se debe tomar en cuenta el valor del beneficio por kW.h adicional el cual se calcula del total de Kw.h iniciales estimados para cada proyecto anualmente restándole los montos correspondientes a iluminación, radio, televisión y refrigeración. Luego se debe multiplicar por el factor de beneficio indicado en la figura 4.39

BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA ELECTRICIDAD RURAL DEL PERÚ (1999)				
Región	Iluminación (\$)	Radio y Televisión (\$)	Refrigeración (\$)	Por kW.h Adicional (\$)
SIERRA	158.4	60.48	0	0.15109
SELVA	102.24	57.96	138.84	0.15109
COSTA	123.96	89.4	231.12	0.15109

$$\text{Factor de Actualización} = \frac{\text{IPC Dic 2019 (*)}}{\text{IPC Dic 1999 (*)}} = \frac{131.77}{78.69} = 1.67$$

(*) Índice de Precios al Consumidor - BCRP

Fuente: NRECA Internacional, Ltd.

Figura 4.39: Beneficios económicos de la electricidad en una evaluación social.

Indicador de rentabilidad social

Una vez elaborados los beneficios incrementales sociales y costos incrementales sociales a precios anuales, se calcula los indicadores de rentabilidad. Valor Actual Social Neto (VANS) y la Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) tomando en cuenta una tasa de descuento de 8%

CAPÍTULO 5. CASO COLONIA ANGAMOS

5.1 Introducción

La localidad Colonia Angamos se encuentra en suelo peruano, a orillas del río Yavarí, afluente que demarca la frontera entre Perú y Brasil. Esta localidad tiene actualmente 1520 habitantes que utilizan 307 viviendas (incluye comercio, centro educativo, iglesias, etc.), y cuentan con energía diaria por aproximadamente 2 horas.

El sistema eléctrico existente fue construido y es operado actualmente por la municipalidad. Este sistema eléctrico utiliza un generador diésel recientemente adquirido que tiene la capacidad para atender toda la demanda por 24 horas, pero no lo puede hacer debido a la falta de un sistema de almacenaje para su combustible.

Electro Oriente, en el año 2016, planteó un proyecto para instalar una nueva térmica existente y construir un sistema de almacenamiento de combustible de forma que se pueda abastecer a los usuarios por 5 horas diarias. Los principales datos de este proyecto se encuentran en el portal del Invierte.pe y pueden ser consultados online. Una alternativa para atender las 24 horas a la colonia es el proyecto de instalación de paneles fotovoltaicos concentrados (en conjunto con un arreglo de baterías, conversor y un grupo térmico pequeño para emergencias). La aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior, permite tener otra alternativa de proyecto para abastecer la demanda de la Colonia Angamos por 24 horas: un sistema híbrido.

En este capítulo se comparan los 3 proyectos comentados recientemente: (i) generación térmica con tanques de combustible, para abastecer 5 horas de demanda diaria, (ii) generación solar con térmica solo para emergencias, para abastecer 24 horas de demanda diaria, y (iii) generación híbrida, producto de la aplicación de la metodología planteada, para abastecer la demanda por 24 horas. La comparación se realiza para 3 escenarios: (i) inversión privada, (ii) inversión pública o social, y (iii) inversión social con financiamiento gubernamental. Si bien el escenario para la toma de decisiones es el de inversión pública, los otros 2 escenarios se muestran para determinar cómo varían los indicadores económicos. La comparación de resultados permite observar las ventajas que presenta la aplicación de la propuesta de la presente tesis en un caso real de electrificación rural.

5.2 Situación actual de la Colonia Angamos

Colonia Angamos es una localidad peruana situada a orillas del río Yavarí, afluente que divide los países de Perú y Brasil, tal y como mostrado en la Figura 5.1.



Fuente: Google Maps

Figura 5.1: Ubicación de la Colonia Angamos

Esta localidad se ubica en el departamento de Loreto, provincia de Requena, distrito de Yaquerana, teniendo actualmente 307 viviendas, 107 puntos de alumbrado público y una población de 1520 habitantes de acuerdo al detalle presentado en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Colonia Angamos - Detalle de viviendas

Viviendas	Sub-Tipo	Cantidad
De uso doméstico	Con refrigeradora	203
	Sin refrigeradora	84
De uso productivo	Tiendas	7
	Hospedajes	3
Para uso de las comunidades	Escuelas	5
	Iglesias	3
	Comisaria	1
	Centro de salud	1
	Alumbrado público	170

Fuente: Entrevista telefónica con el alcalde Sr. Daniel Jimenez

La Colonia Angamos cuenta con una red eléctrica construida y administrada por la municipalidad. La generación eléctrica es térmica con combustible diésel (CAT 440 kW, 440 V), que se transmite por una red primaria (10 kV) y una red secundaria (220V). El servicio eléctrico suministrado es aproximadamente por 2 horas diarias. Un detalle del estado de estas instalaciones puede ser observado en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Colonia Angamos - Detalle del sistema eléctrico existente

Equipo	Descripción	Estado
	Grupo Térmico CAT 440 kW, 440 V	Equipo en buenas condiciones. Año de fabricación: 2018. No cuenta con sistema de almacenamiento de combustible. Infraestructura civil no cumple condiciones mínimas de seguridad. Transformador elevador 200 kVA (0.46/10) kV operativo.
	Redes Primarias	Cables operativos en condiciones inseguras. Única protección a la salida 10 kV mediante seccionador cut-out (fusible). No cuenta con sistema de control, protección y medición.

	<p>Redes Secundarias</p>	<p>Cables operativos en condiciones inseguras, no cumplen distancias mínimas de seguridad. Solo cuenta con un transformador de distribución de 100 kVA para todo el sistema de distribución. Las conexiones domiciliarias no cuentan con medidores de energía.</p>
---	--------------------------	--

Fuente: Visita realizada a la Colonia Angamos en marzo 2019.

Del estado reportado en la Tabla 5.2, se evidencia que el principal problema para proveer de energía por un tiempo mayor al suministrado (2 horas) es la falta de un reservorio para el combustible. Asimismo, también se evidencia que las redes primarias y secundarias tienen que ser reemplazadas.

Colonia Angamos se encuentra parcialmente dentro de la zona de concesión de la empresa Electro Oriente, tal como detallado en la Figura 5.2. Esto significa que Electro Oriente, en cumplimiento de sus obligaciones, deberá plantear una solución para atender adecuadamente a los usuarios dentro de su zona de concesión como mínimo, mientras que la DGER deberá plantear una solución para el restante de la localidad.



Fuente: Google Maps

Figura 5.2: Colonia Angamos – Zona de Concesión de Electro Oriente

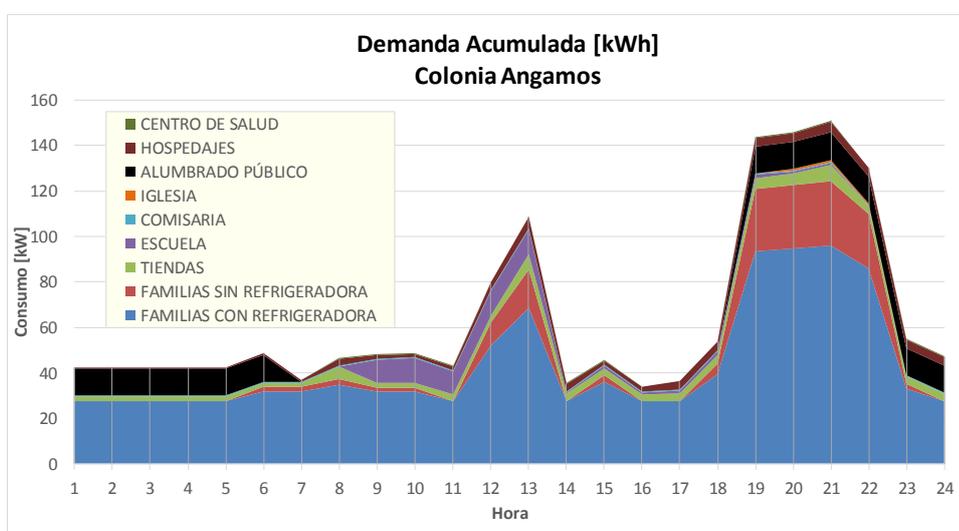
5.3 Proyección de la demanda a 10 años

En la Tabla 5.1 se mostró la cantidad de usuarios del servicio eléctrico requerido en la Colonia Angamos para el año 2019. En la sección 4.7 se mostró la demanda eléctrica (detallado en energía horaria) que cada usuario típico requiere. Con los datos recientemente comentados se calcula la demanda eléctrica horaria que requiere Colonia Angamos, tal como detallado en la Tabla 5.3 y Figura 5.3.

Tabla 5.3: Colonia Angamos – Energía (kWh) horaria por usuario.

USUARIOS									CONSUMO TOTAL kWh
203	84	7	3	5	1	3	1	170	
FAMILIAS CON NEVERA	FAMILIAS SIN NEVERA	TIENDAS	HOSPEDAJES	ESCUELA	COMISARIA	IGLESIA	CENTRO DE SALUD	Alumbrado Público	
27.710	-	1.911	0.410	-	0.315	-	0.168	11.900	42.41
27.710	-	1.911	0.410	-	0.315	-	0.168	11.900	42.41
27.710	-	1.911	0.410	-	0.315	-	0.168	11.900	42.41
27.710	-	1.911	0.410	-	0.315	-	0.168	11.900	42.41
27.710	-	1.911	0.410	-	0.315	-	0.168	11.900	42.41
31.973	1.764	2.058	0.620	-	0.315	-	0.168	11.900	48.80
31.973	1.764	2.058	0.620	-	0.315	-	0.168	-	36.90
34.612	2.856	5.409	2.929	-	0.470	-	0.238	-	46.51
31.770	1.680	2.261	1.580	10.080	0.470	-	0.238	-	48.08
31.770	1.680	2.261	1.580	10.680	0.450	-	0.238	-	48.66
27.710	-	2.821	1.820	10.105	0.450	-	0.338	-	43.24
52.070	10.080	3.101	3.380	10.680	0.450	-	0.338	-	80.10
68.655	16.943	6.772	4.953	10.680	0.450	-	0.338	-	108.79
27.710	-	3.101	3.380	0.600	0.450	-	0.338	-	35.58
35.830	3.360	2.821	1.820	1.005	0.450	-	0.338	-	45.62
27.710	-	2.821	1.820	1.005	0.450	-	0.238	-	34.04
27.710	-	3.248	3.590	1.300	0.485	-	0.238	-	36.57
39.281	4.788	3.771	3.814	1.500	0.485	-	0.238	-	53.88
93.482	27.216	4.751	3.814	1.780	0.485	-	0.238	11.900	143.67
94.903	27.804	4.751	3.814	0.880	0.485	0.849	0.348	11.900	145.73
95.918	28.224	7.376	4.939	0.880	0.485	0.849	0.348	11.900	150.92
85.768	24.024	3.283	3.665	-	0.495	0.849	0.348	11.900	130.33
32.988	2.184	3.283	3.665	-	0.495	-	0.348	11.900	54.86
27.710	-	3.283	3.665	-	0.495	-	0.218	11.900	47.27
1,038.08	154.37	78.8	57.5	61.2	10.2	2.5	6.1	142.8	1,551.61

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3: Colonia Angamos – Demanda en un día típico para el 2019

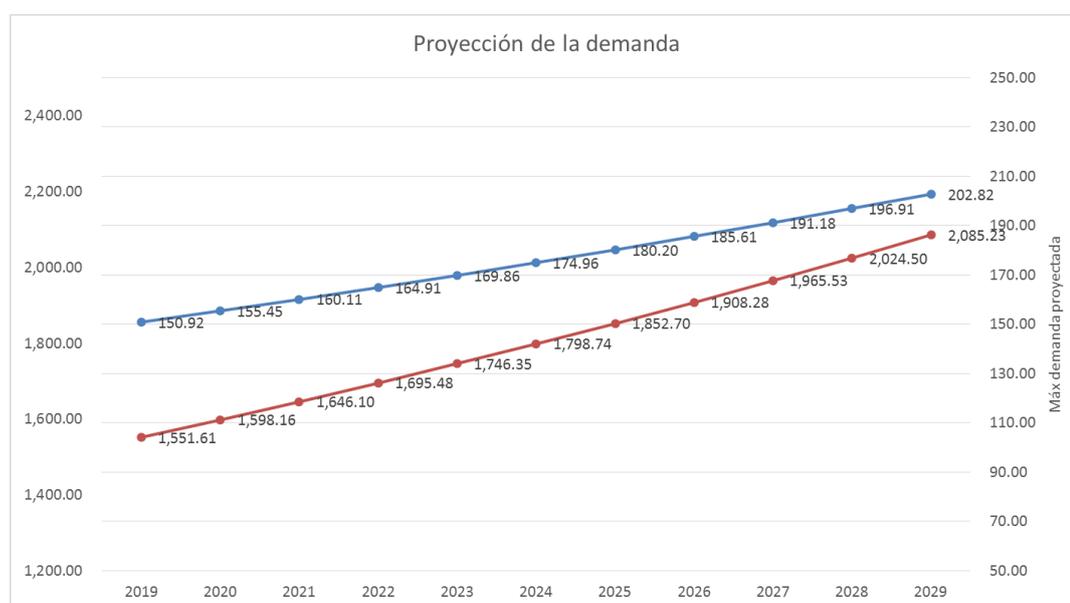
Para la proyección de la demanda, con un horizonte de 10 años, se utiliza el modelo explicado en las secciones 4.6 y 4.7, considerando un crecimiento de 3%. El detalle de este crecimiento puede ser observado en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Colonia Angamos – Proyección de la Demanda (viviendas)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Familias con refrigeradora	203	209	215	222	228	235	242	250	257	265	273
Familias sin refrigeradora	84	87	89	92	95	97	100	103	106	110	113
Tiendas	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9
Hospedaje	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
Escuela	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
Comisaría	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Iglesia	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
Centro de Salud	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Alumbrado público	170	175	180	186	191	197	203	209	215	222	228

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que, para un horizonte de 10 años, se obtiene la demanda mostrada en la Figura 5.4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4: Colonia Angamos – Demanda (kW) hasta el 2029.

5.4 Caso 1: Sistema Eléctrico Térmico

Electro Oriente ha desarrollado un proyecto de electrificación el año 2016 para mejorar el servicio en la Colonia Angamos, San Roque, Tamanco y Sapuena. Este proyecto se puede consultar en la plataforma Invierte.pe con el código SNIP 347614. Cada sub-proyecto consiste en construir un sistema de almacenamiento de combustible para aumentar el horario de funcionamiento de la central térmica de 2 a 5 horas. Bajo el supuesto que cada sub-proyecto tiene la misma rentabilidad que el proyecto total, entonces la rentabilidad de un proyecto que incremente el suministro del servicio eléctrico de 2 a 5 horas, en la localidad Colonia Angamos tiene una rentabilidad tal como la mostrada en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Caso 1 – Rentabilidad Invierte.pe

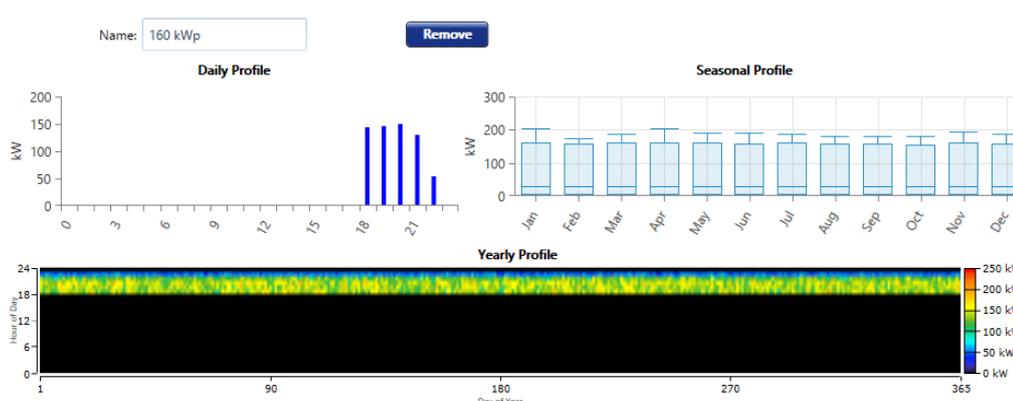
Inversión (S/.)	Horizonte (años)	VAN (S/.)	TIR (%)
1 488 936	10	1 961	12.78

Fuente: Invierte.pe

Con la finalidad de poder efectuar comparaciones posteriores, se reprodujo este caso utilizando la demanda previamente proyectada, así como la optimización del uso de la única fuente de energía considerada (generación térmica). La evaluación económica (que calcula el CAPEX, OPEX y Beneficios del proyecto) se realiza con la hoja de cálculo producto de la presente tesis. Los detalles se presentan a continuación.

5.4.1 Proyectar la demanda

La demanda fue proyectada en la sección 5.3. Para efectos de análisis solo se consideran 5 horas comprendidas entre las 18:00 y 23:00 horas, tal como mostrado en la Figura 5.5.



Fuente: Software HOMER

Figura 5.5: Caso 1 - Demanda

5.4.2 Diseñar Sistema Eléctrico Térmico

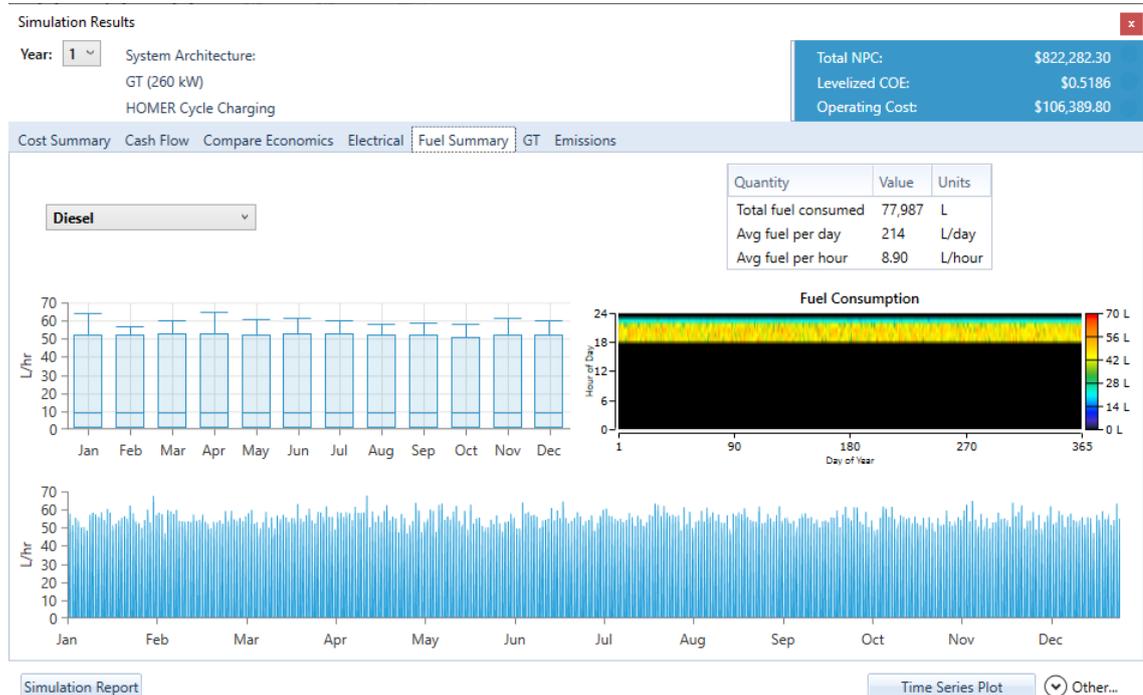
El dimensionamiento del sistema eléctrico se realizó con el programa HOMER. Los resultados se pueden observar en la Figura 5.6, indicando que para atender la demanda durante los próximos 10 años se requiere una central térmica de 260 kW

Optimization Results									
Architecture		Cost				System			
⚠	🔧	GT (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
		260	CC	\$822,282	\$0.519	\$106,390	\$163,020	0	87,111

Fuente: Software HOMER

Figura 5.6: Caso 1- Dimensionamiento de la GT (HOMER).

La operación de la central térmica se puede observar en la Figura 5.7. En esta figura se puede notar que la central solo operará entre las 18 y 23 horas.



Fuente: Software HOMER

Figura 5.7: Caso 1- Operación de la GT (HOMER).

5.4.3 Evaluación Económica

En la Tabla 5.6 se pueden observar los resultados de la evaluación económica para cada uno de los 3 escenarios considerados. En esta tabla se puede apreciar que bajo un escenario privado este proyecto no sería viable, bajo un escenario público (social) estaría casi viable, mientras que con el financiamiento de la DGER (al ser responsable por el 50 % de las viviendas en la Colonia Angamos), el proyecto recién se torna atractivo para una entidad pública.

Tabla 5.6: Caso 1 – Evaluación Económica

G. Térmico			
Indicadores Económicos	Privado	Social	Social con Financ. 50%
Inversión S/	S/1,588,289	S/1,352,043	S/676,021
Tasa de Descuento	12%	8%	8%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/1,515,291	-S/23,876	S/652,146
Tasa Interna de Retorno (TIR)	-27.07%	7.62%	25.42%

Fuente: Elaboración propia.

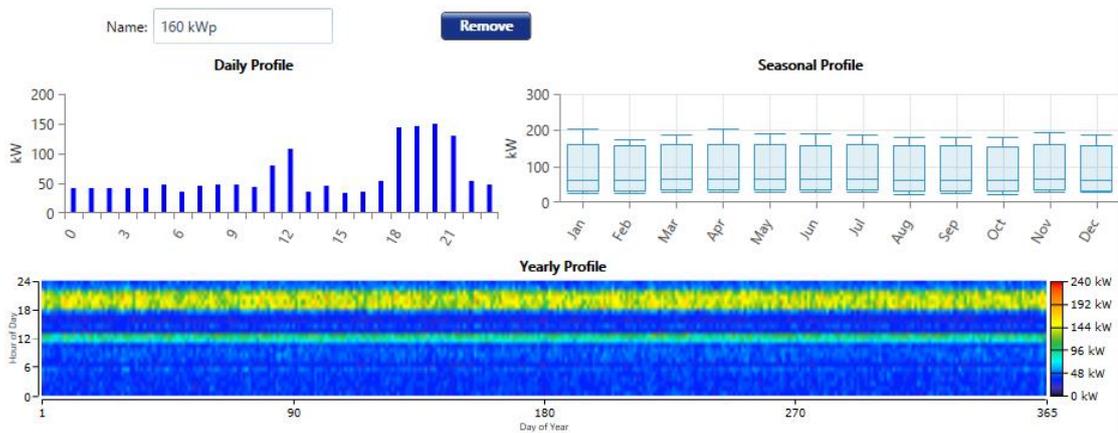
En el escenario social, comparando las Tablas 5.5 y 5.6, se puede apreciar que los costos de inversión son muy cercanos, mientras que la rentabilidad no lo es. Esto es principalmente por la forma en que son calculados los beneficios. Mientras que el proyecto inscrito en el Invierte.pe se los beneficios se calculan en base a la proyección diaria de energía, en el proyecto diseñando en esta sección los beneficios se calculan en base a la proyección horaria de energía. El tener una proyección horaria permite un cálculo más cercano a la realidad.

5.5 Caso 2: Sistema Eléctrico Fotovoltaico

En esta sección se evalúa la rentabilidad de un proyecto que atienda a la Colonia Angamos las 24 horas por día, considerando inicialmente como única fuente la energía solar, y finalmente agregándole una pequeña generación térmica para casos de emergencia.

5.5.1 Proyectar la demanda

La demanda fue proyectada en la sección 5.3. Estos valores pueden ser observados en la Figura 5.8.



Fuente: Software HOMER

Figura 5.8: Caso 2- Demanda.

5.5.2 Diseñar Sistema Eléctrico Fotovoltaico

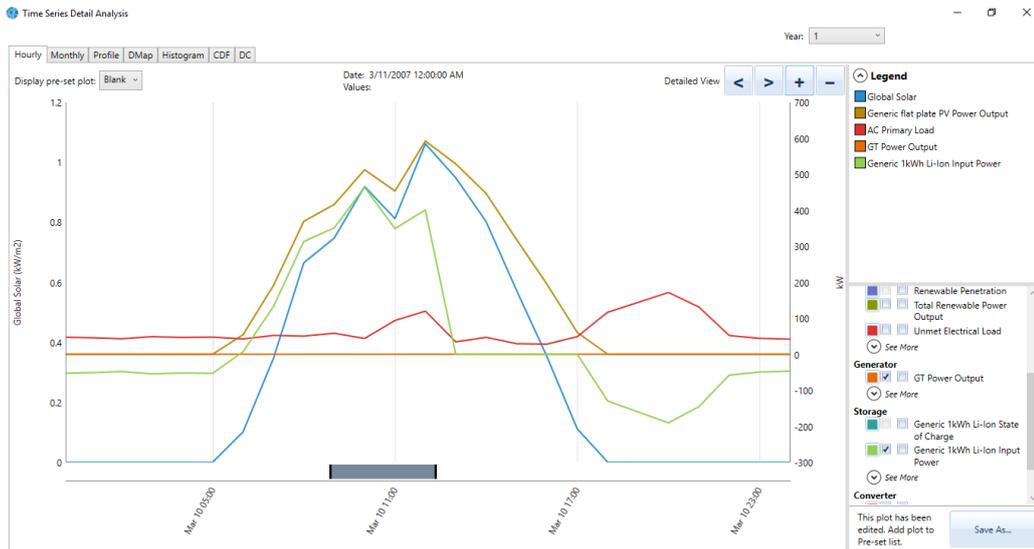
El dimensionamiento del sistema eléctrico se realizó con el programa HOMER. Los resultados se pueden observar en la Figura 5.9, indicando que para atender la demanda durante los próximos 10 años se requiere una central fotovoltaica de 700 kW, un conjunto de baterías de 4 800 kWh, un convertor de 200 kW, así como un grupo térmico de 60 kW.

Optimization Results													
Architecture								Cost				System	
	PV (kW)	GT (kW)	1kWh LI	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
	700	60.0	4,800	200	CC	\$2.75M	\$0.698	-\$1,102	\$2.75M	89.3	23,089		

Fuente: Software HOMER

Figura 5.9: Caso 2- Dimensionamiento de la PV (HOMER).

La operación del sistema, para un día típico, se puede observar en la Figura 5.10. En color azul se puede observar el recurso energético, en color naranja la conversión que realizan los paneles solares y en color rojo la demanda existente. En esta figura se observa que mientras hay mayor conversión en los paneles que demanda requerida se cargan las baterías (color verde), y cuando hay mayor demanda que energía convertida en los paneles se descargan las baterías.



Fuente: Software HOMER

Figura 5.10: Caso 2- Operación del sistema (HOMER).

La operación de la central térmica se puede observar en la Figura 5.11. En esta figura se puede notar que la central, durante el año, solo opera de manera excepcional cuando el conjunto panel – batería no consigue abastecer la demanda debido a falta del sol.



Fuente: Software HOMER

Figura 5.11: Caso 2- Operación de la GT (HOMER).

5.5.3 Evaluación Económica

En la Tabla 5.7 se pueden observar los resultados de la evaluación económica para cada uno de los 3 escenarios considerados. En esta tabla se puede apreciar que

bajo un escenario privado este proyecto no sería viable, bajo un escenario público (social) tampoco sería viable, mientras que con el financiamiento de la DGER (al ser responsable por el 50 % de las viviendas en la Colonia Angamos), el proyecto recién se torna viable para una entidad pública.

Tabla 5.7: Caso 2 – Evaluación Económica

G. Fotovoltaico			
Indicadores Económicos	Privado	Social	Social con Financ. 50%
Inversión S/	S/9,227,601	S/7,796,748	S/3,898,374
Tasa de Descuento	12%	8%	8%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/7,056,077	-S/3,395,533	S/502,841
Tasa Interna de Retorno (TIR)	-12.56%	-2.67%	10.67%

Fuente: Elaboración propia.

5.6 Caso 3: Sistema Híbrido

En esta sección se evalúa la rentabilidad de un proyecto que permita el suministro de energía a la Colonia Angamos las 24 horas, siguiendo la metodología propuesta. El primer paso dentro de la metodología consiste en proyectar la demanda.

5.6.1 Proyectar la demanda

La demanda fue proyectada en la sección 5.3. A seguir la metodología consulta sobre si existe un punto de conexión al sistema interconectado cercano, para decidir sobre si se debe ampliar el sistema interconectado o si se debe analizar otra alternativa.

5.6.2 Diseñar Ampliación de Red Eléctrica

La Colonia Angamos se encuentra aproximadamente a 150 Km del punto más cercano de la red eléctrica principal (sistema aislado Iquitos), por lo que la metodología descarta la opción de ampliar el sistema interconectado. A seguir la metodología consulta si existe dispersidad entre las viviendas de la comunidad, para decidir sobre si se debe instalar sistemas fotovoltaicos domiciliarios o si se debe analizar otra alternativa.

5.6.3 Diseñar Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios

En la figura 5.2 se puede observar que las casas están concentradas (1000 hab/m²), por lo que la metodología descarta la opción de instalar sistemas

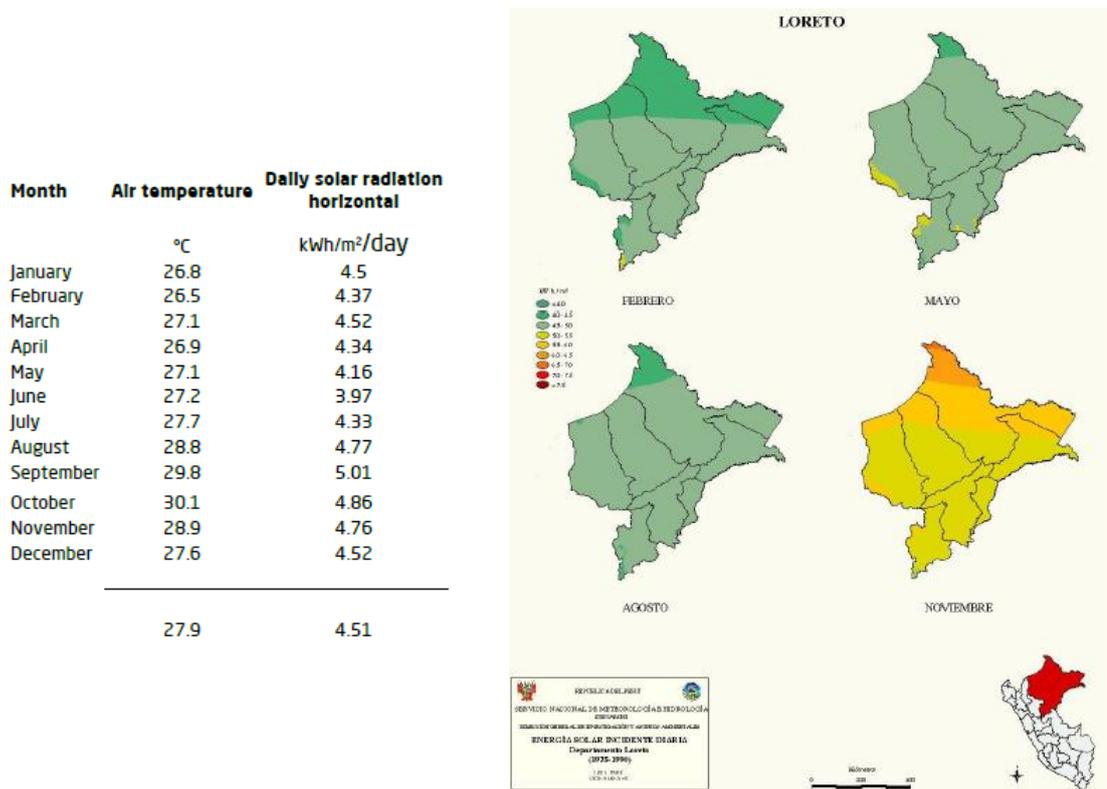
fotovoltaicos domiciliarios. A seguir la metodología procede a diseñar un sistema híbrido para atender los objetivos del proyecto.

5.6.4 Diseñar Sistema Híbrido

Para el diseño del sistema híbrido se utiliza el programa HOMER. En este software se ingresa como datos de entrada la demanda proyectada, así como el espacio de búsqueda para las centrales (solar con baterías y conversor, eólica, hídrica y térmica), de forma que nos reporte la mejor combinación de fuentes de energía.

Recurso solar disponible

El recurso solar el HOMER lo obtiene de la Base de Datos de la NASA. Para la simulación se consideran los valores de irradiación solar mostrados en la figura 5.12.



Fuente: Atlas solar

Figura 5.12: Caso 3 - Irradiación solar

Recurso eólico disponible

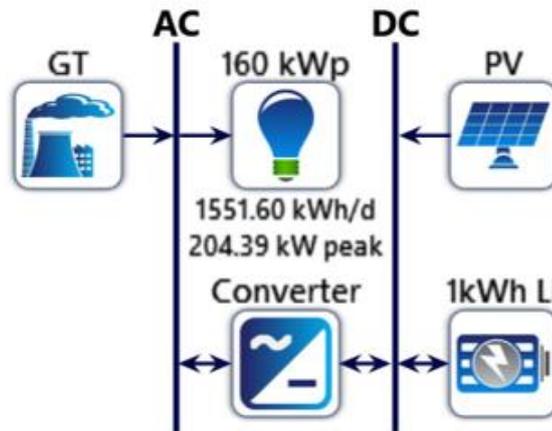
No se considera en la presente simulación.

Recurso hídrico disponible

No se considera en la presente simulación

Simulación utilizando HOMER

Los datos de ingreso del HOMER pueden ser visualizados en la figura 5.13.



Fuente: Programa HOMER

Figura 5.13: Caso 3 – Dimensionamiento (HOMER)

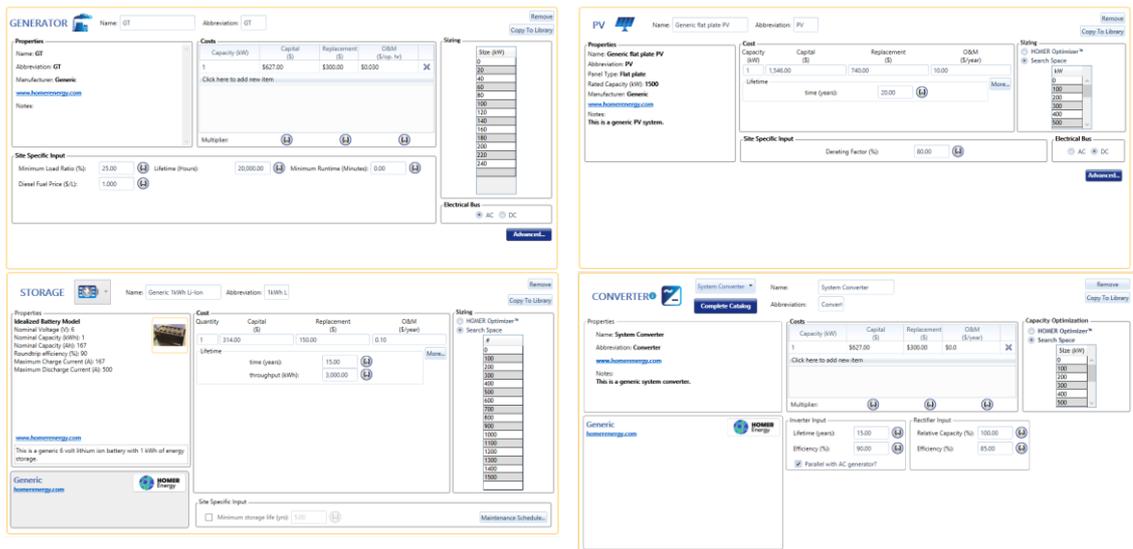
La demanda ingresada se puede observar en la figura 5.14.



Fuente: Programa HOMER

Figura 5.14: Caso 3 – Demanda (HOMER)

El horizonte de análisis es de 10 años, considerando un crecimiento de la demanda de 3%. Los datos para cada una de las fuentes consideradas se pueden observar en la figura 5.15.

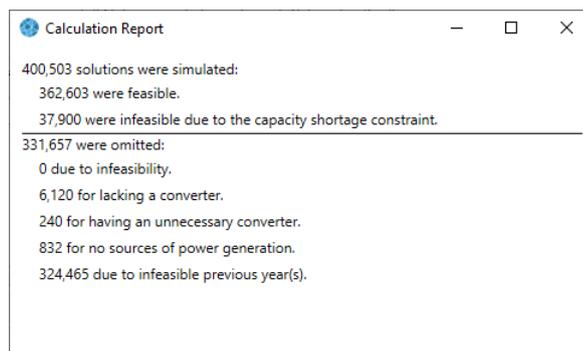


Fuente: Programa HOMER

Figura 5.15: Caso 3 – Datos de los Generadores

En la Figura 5.15 se pueden observar los costos unitarios que están siendo considerados para cada una de las fuentes de generación. Estos costos consideran los costos de los equipos (obtenidos de cotizaciones), pero con un incremento de costos correspondientes a sus obras civiles, montaje electromecánico, transporte, ingeniería, supervisión de obra y utilidades, según detallado en la sección 4.10.1.

Los resultados del proceso de optimización pueden ser observados en la Figura 5.16. En esta figura se aprecia que el espacio de búsqueda requería la realización de 400 503 simulaciones, de las cuales 37 900 se identificaron de antemano que no obtendrían solución, por lo que solo se realizaron 362 603. Cada una de estas simulaciones resuelve un problema de optimización donde se determinan las cantidades para cada una de las fuentes generadoras, minimizando el costo total (suma de la inversión y la operación en el horizonte de estudio).



Fuente: Programa HOMER

Figura 5.16: Caso 3 – Optimización (HOMER)

Las simulaciones encontraron 362 603 soluciones que cumplían técnicamente con atender la demanda por los próximos 10 años. Estas soluciones se pueden categorizar en 2 grupos de acuerdo al tipo de energía que utilizan. Las categorías se pueden observar en la Figura 5.17.

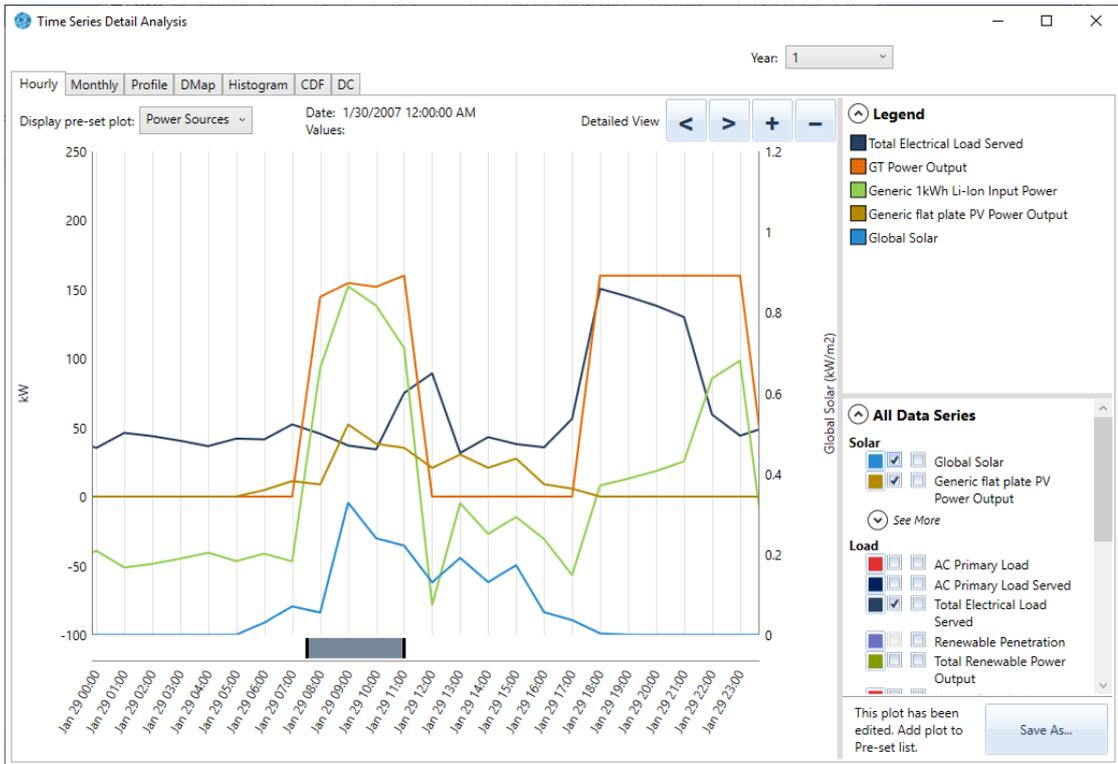
Optimization Results													
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.													
Export...													
Categorized Overall													
Architecture							Cost				System		
	PV (kW)	GT (kW)	1kWh LI	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hc	
	200	160	800	100	CC	\$1.80M	\$0.457	\$173,106	\$723,420	24.7	151,337	3,2	
		100	800	200	CC	\$2.06M	\$0.523	\$261,102	\$439,300	0	220,189	7,6	
	1,400		5,600	300	CC	\$3.88M	\$0.986	-\$37,884	\$4.11M	100	0		

Fuente: Programa HOMER

Figura 5.17: Caso 3 – Dimensionamiento categorizado

En la Figura 5.17 se puede observar que la mejor combinación la representan una planta fotovoltaica de 200 kW, una térmica de 160 kW, baterías de 800 kWh y un conversor de 100 kW. Esta solución posee un costo de inversión de suministros de aproximadamente USD 723 420. Este valor será refinado en la siguiente sección previa a la evaluación económica.

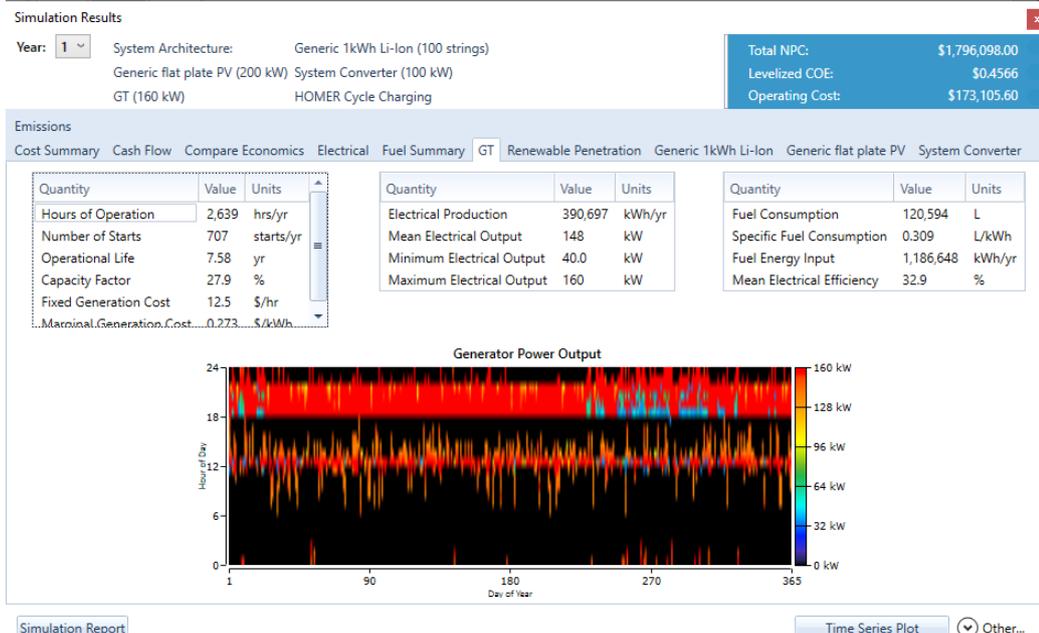
La operación del sistema, para un día típico, se puede observar en la Figura 5.10. En color azul se puede observar el recurso energético, en color marrón la conversión que realizan los paneles solares, en color plomo la demanda existente y en color naranja generación térmica. En esta figura se observa que mientras hay mayor conversión en los paneles que demanda requerida se cargan las baterías (color verde), y cuando hay mayor demanda que energía convertida en los paneles se descargan las baterías, con la particularidad que se encienden los grupos térmicos para cargar la batería cuando resulta más barato almacenar energía que suministrar energía.



Fuente: Software HOMER

Figura 5.18: Caso 3- Operación del sistema (HOMER).

La operación de la central térmica se puede observar en la Figura 5.19. En esta figura se puede notar que la central, durante el año, opera prácticamente todos los días en los horarios en los que el costo de oportunidad de la energía es mayor (cuando no hay energía solar, y se ha llegado a un nivel mínimo de seguridad en las baterías).



Fuente: Software HOMER

Figura 5.19: Caso 3- Operación de la GT (HOMER).

5.6.5 Evaluación Económica

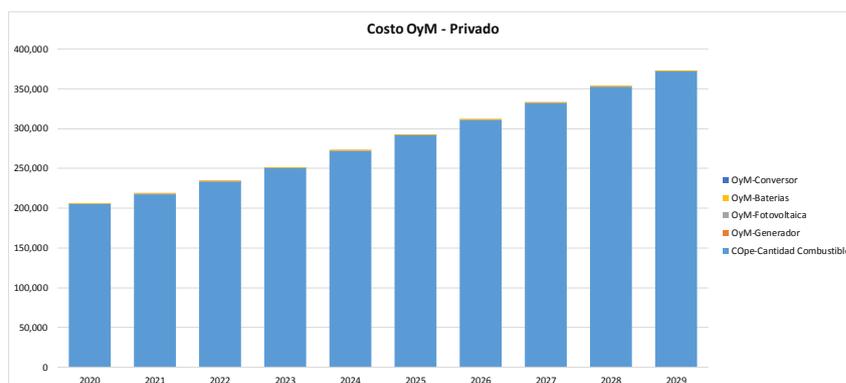
Considerando las cantidades de equipos dimensionados con el HOMER en la sección anterior se procede a calcular el CAPEX del proyecto, el cual se detalla en la Figura 5.20.

DESCRIPCIÓN	Factor Social	Costos Privados	Costos Sociales
Suministro de Materiales		1,529,161.00	1,399,641.06
Nacional	0.848	-	-
Importado	0.915	1,529,161.00	1,399,641.06
Obras Civiles		727,201.19	577,651.33
Mano de Obra Calificada	0.870	305,832.20	243,425.57
Mano de Obra No Calificada	0.490	76,458.05	34,291.21
Especial - Obra Civil	0.870	344,910.94	299,934.55
Montaje Electromecánico		229,374.15	156,003.99
Mano de Obra Calificada	0.870	152,916.10	121,712.79
Mano de Obra No Calificada	0.490	76,458.05	34,291.21
Especial - Montaje Elect.	0.870	-	-
Transporte		30,583.22	27,992.82
Transporte de Materiales	1.000	30,583.22	27,992.82
COSTO DIRECTO		2,516,319.56	2,161,289.21
Supervisión de Obra	0.848	76,458.05	59,309.79
Estudios Generales	0.848	-	-
Gastos Generales	0.848	152,916.10	118,619.58
Utilidades	0.769	76,458.05	53,830.20
COSTO INDIRECTO		305,832.20	231,759.57
PRESUPUESTO SIN IGV (S/.)		2,822,151.76	2,393,048.78
IGV		507,987.32	430,748.78
PRESUPUESTO DE OBRA CON IGV (S/.)		3,330,139.08	2,823,797.56

Fuente: Elaboración propia

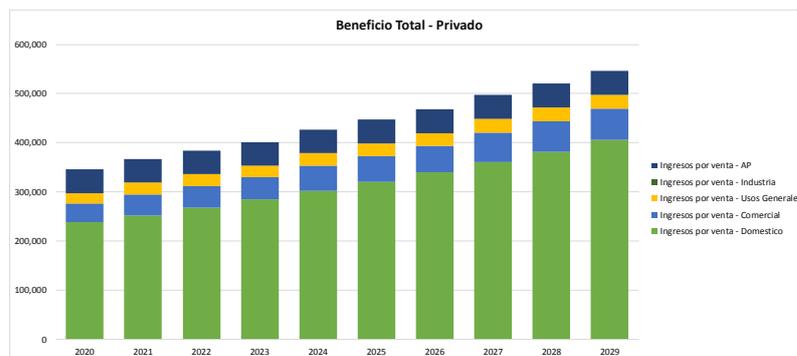
Figura 5.20: Caso 3 – Capex privado y social.

Los valores de operación y mantenimiento (OPEX) se calculan cuantificando el combustible consumido, así como las actividades de mantenimiento. Estos costos se pueden observar en la Figura 5.21 y 5.23, para los análisis privado y social respectivamente. Los beneficios del proyecto pueden ser observados en las Figuras 5.22 y 5.24, para los análisis privado y social respectivamente



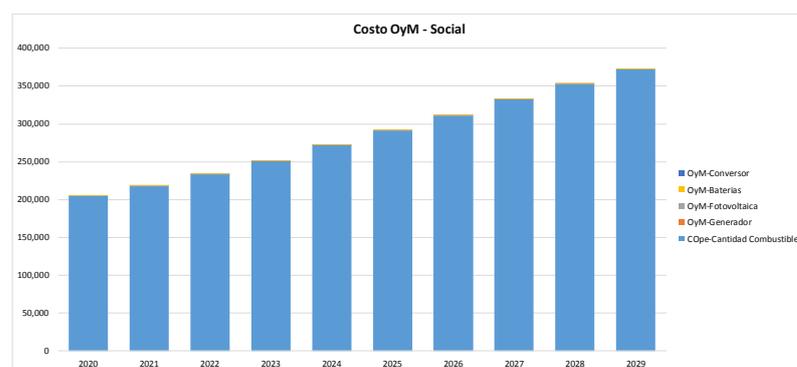
Fuente: Elaboración propia

Figura 5.21: Caso 3 - Costos privados



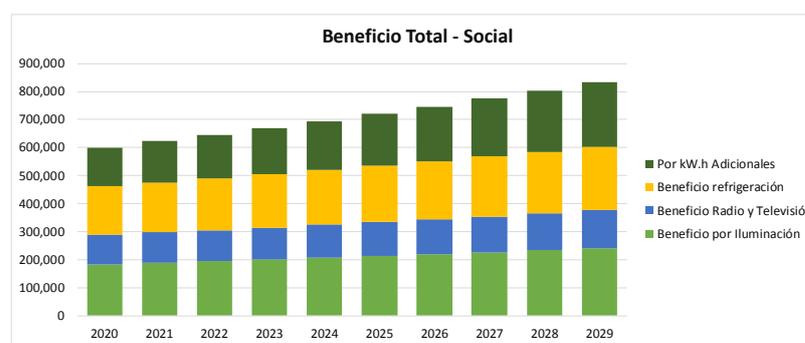
Fuente: Elaboración propia

Figura 5.22: Caso 3 - Beneficios privados



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.23: Caso 3 - Costo Social



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.24: Caso 3 - Beneficio Social

De los valores de costos y beneficios recientemente mostrados, se pueden calcular las rentabilidades para el proyecto, como mostrado en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8: Caso 3 – Evaluación Económica

G. Híbrida			
Indicadores Económicos	Privado	Social	Social con Financ. 50%
Inversión S/	S/3,330,139	S/2,823,798	S/1,411,899
Tasa de Descuento	12%	8%	8%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/2,463,539	S/9,201	S/1,421,100
Tasa Interna de Retorno (TIR)	-11.56%	8.07%	26.56%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5.8 se puede observar que el proyecto no es viable en un escenario privado, pero sí en un escenario social. Ya con un financiamiento de la DGER (debido a que es responsable por la electrificación de la mitad de la Colonia Angamos), el proyecto se torna atractivo para una empresa pública.

5.7 Comparación de resultados

La comparación de resultados se puede apreciar en las Tabla 5.9, 5.10 y 5.11 para los escenarios privado, social y social con financiamiento:

En estas tablas se puede apreciar que en los 3 escenarios el sistema híbrido posee mejores indicadores económicos.

Tabla 5.9: Colonia Angamos – Escenario privado

Privado			
Indicadores Económicos	G. Térmico	G. Fotovoltaico	G. Híbrida
Inversión S/	S/1,588,289	S/9,227,601	S/3,330,139
Tasa de Descuento	12%	12%	12%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/1,515,291	-S/7,056,077	-S/2,463,539
Tasa Interna de Retorno (TIR)	-27.07%	-12.56%	-11.56%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.10: Colonia Angamos – Escenario social

Social			
Indicadores Económicos	G. Térmico	G. Fotovoltaico	G. Híbrida
Inversión S/	S/1,352,043	S/7,796,748	S/2,823,798
Tasa de Descuento	8%	8%	8%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/23,876	-S/3,395,533	S/9,201
Tasa Interna de Retorno (TIR)	7.62%	-2.67%	8.07%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.11: Colonia Angamos – Escenario social con financiamiento

Con financiamiento del 50%			
Indicadores Económicos	G. Térmico	G. Fotovoltaico	G. Híbrida
Inversión S/	S/676,021	S/3,898,374	S/1,411,899
Tasa de Descuento	8%	8%	8%
Valor Actual Neto (VAN)	S/652,146	S/502,841	S/1,421,100
Tasa Interna de Retorno (TIR)	25.42%	10.67%	26.56%

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

- El análisis de la realidad de la electrificación rural en Loreto demostró que este es un Departamento adecuado para la validación de la metodología propuesta.
- La revisión bibliográfica de la literatura especializada mundial determinó que las tecnologías presentes en los sistemas híbridos (energía solar, almacenamiento distribuido, minigrids, etc.) el cual hace parte del concepto de SMART GRID, pueden contribuir en el corto plazo en la minimización de brechas de electrificación rural.
- Los agentes responsables por el cierre de brechas de la electrificación rural en Loreto son Electro Oriente S.A. (empresa de distribución eléctrica que incluye al departamento dentro de su área de influencia), DGER, ADINELSA y los gobiernos locales y regionales.
- Todos estos agentes son organizaciones públicas que tienen como obligación contribuir al cumplimiento de las políticas públicas establecidas en la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040, la cual tiene entre sus objetivos: contar con una matriz diversificada, desarrollo con mínimo impacto ambiental y principalmente el acceso universal al suministro energético.
- La metodología planteada para la selección de alternativas de electrificación de comunidades rurales, es una modificación de la metodología existente. El principal cambio consiste en la inclusión de los sistemas híbridos como una alternativa adicional a las existentes. Esta inclusión requirió que en el proceso de diseño se considere la optimización del dimensionamiento de cada una de las fuentes de energía de forma que combinadas abastezcan la demanda en todo el horizonte de estudio.
- Colonia Angamos es una localidad representativa dentro de Loreto, en la que la aplicación de la metodología propuesta nos permite obtener conclusiones extensibles a las demás localidades.

- Se efectuó la comparación de 3 casos analizados para la Colonia Angamos. Los 3 casos fueron diseñados utilizando el HOMER y evaluados con la misma hoja de cálculo económica. El primer caso es una reproducción de un proyecto existente en el Invierte.pe que plantea el reemplazo de la Central Térmica existente para suministrar electricidad por 5 horas. El segundo caso es el planteamiento de atender la demanda por 24 horas utilizando solo energía solar, pero con un grupo térmico pequeño para emergencias. El tercer caso, resultado de la aplicación de la metodología planteada, es atender la demanda por 24 horas utilizando una combinación de fuentes de energía (solar, batería, convertidor y térmica). Los parámetros de comparación son el VAN y TIR, y los escenarios de comparación son el privado versus el social. Se mostró adicionalmente un escenario social con financiamiento gubernamental solo para efectos de ver la sensibilidad de los indicadores económicos. La comparación de resultados demostró que los proyectos no son viables desde el punto de vista privado, y solo algunos los son desde el punto de vista social. En el escenario social, se demuestra que la propuesta producto de la aplicación de la metodología (sistema eléctrico rural híbrido) es superior a las soluciones típicamente utilizadas (sistema rural solar o térmico).

REFERENCIAS

- Acharjee, P. (2013) Strategy and implementation of Smart Grids in India. Energy Strategy Reviews (ELSEVIER), pp 193-204
- Anaya, L. (2016) Situación y Retos de la Electrificación Rural. Dirección General de Electrificación Rural (Ministerio de Energía y Minas). Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de: <https://www.comexperu.org.pe/foro?page=5>
- Amaya, J. (2005) “Gerencia: Planeación & Estrategia (Recursos de Gerencia)”. Universidad Santo Tomas de Aquino. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books/about/Gerencia_Planeacion_Estrategia.html?id=8Flzg6f8dOsC
- Alvarez, J. (2011). Planeamiento Estratégico, Plan de Desarrollo Concertado y Plan Operativo. Primera edición. Lima, Perú: Instituto Pacifico SAC.
- Azimoh, C. L., Klintenberg, P., Wallina, F., Karlsson, B., Mbohwb, Ch. (2016). Electricity for development: Mini-grid solution for rural electrification in South Africa. Energy Conversion and Management (ELSEVIER), Vol 110, Feby, pp 268-277.
- BCRP (2018). Memoria anual de Banco Central de Reserva del Perú 2018. Recuperado el 15 de junio de 2019, de: <http://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/memoria-anual/memoria-2018.html>
- Bhattacharyya, S., Palitb, D. (2016). Mini-grid based off-grid electrification to enhance electricity access in developing countries: What policies may be required? Energy Policy (ELSEVIER). Vol 94, July, pp 166-178.
- Brandon, N. (2010) Smart and Just Grids: Opportunities for sub-Saharan Africa. Londres, Reino Unido: Imperial College London
- CEPLAN (2018). Guías de Políticas Nacionales. Lima, Perú: Agencia de Contenidos.
- CEPLAN (2019). Políticas nacionales y sectoriales. Recuperado el 16 de febrero de 2019, de: <https://www.ceplan.gob.pe/politicas-nacionales-y-sectoriales/>
- Comello, S., Reichelstein, S., Sahoo, A., Schmidt, T. (2017). Enabling Mini-Grid Development in Rural India. World Development (ELSEVIER). Vol 93, May, pp 94-107.
- David, F. (2013). Conceptos de administración estratégica, 14a. edición. México: Pearson Education.

- ELOR (2018). Memoria anual 2018 Electro Oriente S.A.. Recuperado el 03 de julio de 2019 de: http://www1.elor.com.pe/portal_elor/Media/Uploads/Memoria%20Anual%202018.pdf
- ELOR (2019). Electroriente información de la empresa. Recuperado el 03 de julio de 2019 de: http://www1.elor.com.pe/portal_elor/Contenido?idPagina=4&idPagConte=0
- EPRI (2009). Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects. U.S. Department of Energy, Electric Power Research Institute. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de: https://www.smartgrid.gov/document/methodological_approach_estimating_benefits_and_costs_smart_grid_demonstration_projects.html
- EPRI (2011). Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid. Electric Power Research Institute. Feb. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de: https://www.smartgrid.gov/document/estimating_costs_and_benefits_smart_grid_preliminary_estimate_investment_requirements_and_r
- Falcao, D. (2018). Smart Grids and MicroGrids. IEEE T&D: Sustainable Energy for the Future of Latin America. IEEE T&D PES Conference and Exposition. Conferencia llevado a cabo en Lima, Perú.
- García, J., Palacios B., Beatriz; Espasandín, F., (2014) Manual Practico de responsabilidad social corporativa. Gestión, diagnóstico e impacto en la empresa. Madrid, España: Ediciones Pirámide (Grupo Anaya S.A.)
- Girona, M., Ghanadan, R., Solano-Peralta, M., Kougiyas, I., Bódis, K., Huld, T., Szabó, S. (2016). Adaptation of Feed-in Tariff for remote mini-grids: Tanzania as an illustrative case. Renewable and Sustainable Energy Reviews (ELSEVIER). Vol 53, Jan, pp 306-318.
- International Energy Agency (2013). World Energy Outlook 2013. París Cedex: OECD Publishing 2013.
- IEC (2018). Smart Grid. International Electrotechnical Commission. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de: <https://www.iec.ch/smartgrid/>
- INCORE (2018) Índice de Competitividad Regional 2018 del Instituto Peruano de Economía. Recuperado el 30 de junio de 2019, de <https://www.ipe.org.pe/portal/incore-2018-indice-de-competitividad-regional/>
- INEI (2017). Sistema de información regional para la toma de decisiones en base al censo del año 2017. Recuperado el 15 de mayo de 2019, de

<http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD1/inicio.html#app=db26&d4a2-selectedIndex=1&d9ef-selectedIndex=0>

- Kumar, A., Singh, A., Deng, Y., He, X., Kumar, P., Bansal R. (2018). A Novel Methodological Framework for the Design of Sustainable Rural Microgrid for Developing Nations. IEEE Access. Vol 6, May, pp 24925-24951.
- Laasch, Oliver; Conaway, Roger (2017) Principios de Administración Responsable. Sostenibilidad, responsabilidad y ética globales. Cengage Learning Editores SA de CV. Mexico, D.F.
- Mandelli, S., Barbieri, J., Mereu, R., Colombo, E. (2016). Off-Grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification, and a comprehensive literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 58, (2016), 1621-1646
- Martin, Ch., Starace, F., Pascal J. (2017). The Future of Electricity: New Technologies Transforming the Grid Edge. World Economic Forum. March, 2017.
- MINEM (2016). Evolución de las inversiones en el Sector Eléctrico 1995-2016. Recuperado el 15 de enero de 2019, de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/EVOLUCION%20DE%20INVERSIONES.pdf>
- Moner-Girona, M., Ghanadan, R., Solano-Peralta, M., Kougiass, I., Bódis, K. Huld, T., Szabó, S. (2016). Adaptation of Feed-in Tariff for remote mini-grids: Tanzania as an illustrative case. Renewable and Sustainable Energy Reviews (ELSEVIER). Vol 53, Jan, pp 306-318.
- Norma EDGE (2015). Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural. Ministerio de Energía y Minas. Recuperado el 15 de enero de 2019, de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/EETT%20Sistemas%20Fotovoltaicos%20y%20Componentes.pdf>
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1999). Ministerio De Energía y Minas, Normas Técnicas de los Servicios Eléctricos de la Dirección General de Electricidad. Recuperado el 15 de enero de 2019, de https://www.osinergmin.gob.pe/cartas/documentos/electricidad/normativa/NTCSE_DS020-97-EM.pdf
- Plan Nacional de Electrificación Rural 2016-2025 (2016). Dirección General de Electrificación Rural. Recuperado el 12 de noviembre de 2018, de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/18022-minem-impulsara-electrificacion-rural-y-remediacion-de-pasivos-a-traves-de-mecanismo-obras-por-impuestos>

- Políticas en Electrificación Rural (2006). Dirección General de Electrificación Rural.. Recuperado el 1 de julio de 2019. de http://dger.minem.gob.pe/Institucional_PolíticasElectrificacion.aspx
- Plan Estratégico Sectorial Multianual PESEM 2016-2021 (2016). Ministerio de Energía y Mina Recuperado el 1 de julio de 2019. de <https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/2017/01/PESEM-MINEM.pdf>
- OSINERGMIN (2016a), Industria de la Electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú
- OSINERGMIN (2016b), Supervisión de Proyecto de Electrificación con Sistemas Fotovoltaicos, exposición de Cesar Alfredo Peña Ramos, supervisor en Osinergmin. Recuperado el 10 de mayo de 2019, de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Eventos/Expo-SFV-2017.pdf
- OSINERGMIN (2019), Electricidad. Recuperado el 10 de mayo de 2019, de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Folleteria/16-Electricidad.pdf
- ONU (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Naciones Unidas. Recuperado el 10 de mayo de 2019, de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Roberts, B. (2009) Capturing grid power: performance, purpose, and promise of different storage technologies. IEEE Power and Energy Magazine.
- Rodriguez, J. (2008). Propuesta de una base computacional para desarrollo de software para sistemas de energía eléctrica (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Sociedad de Técnicos de Automoción (2011) El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. Primera edición. Barcelona, España: Librobooks Barcelona, S.L.L.
- Urrunaga, Bonifaz, Aguirre, Aragón y Jara (2013). Beneficios Sociales de la Electrificación Rural. Metodologías y Estimaciones. Universidad del Pacífico.
- Welsh M., Bazilian M., Howells M., Divan D., Elzinga D., Strbac G., Jones L., Keane A., Gielen D., Ballijepalli M., Brew-Hammond A., Yumkella K. (2013). Smart and Just Grids for sub-Saharan Africa: Exploring options. Renewable and Sustainable Energy Reviews (ELSEVIER), pp 336-352
- World Economic Forum (2017). The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge. Recuperado el 2 de febrero de 2019. de http://www2.bain.com/Images/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf