

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA PARA  
MEJORAR LA CONFIABILIDAD EN EL SISTEMA ELÉCTRICO  
DE LUNAHUANÁ – 2021”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**AUTORES:**

**Bach. BARRIONUEVO CHIPANA, Ivan Daniel**

**Bach. ROCCA GUADAMUR, Bruce Bryan**

**Bach. RUJEL RUGEL, Hilton Rodrigo**

**ASESOR:**

**Mg. Ing. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRIGUEZ**

**Callao, 2022**

**PERÚ**



## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

**PRESIDENTE : Dr. Ing. Santiago Linder Rubiños Jiménez**  
**SECRETARIO : Dr. Lic. Adán Almírcar Tejada Cabanillas**  
**VOCAL : Mg. Ing. Delfin Genaro Susanibar Celedonio**  
**ASESOR : Mg. Ing. Carlos Humberto Alfaro Rodríguez**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, por brindarnos educación y apoyarnos incondicionalmente durante nuestra etapa universitaria, siempre fueron nuestro motor y motivo para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradecemos a nuestros formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a llegar al punto en el cual nos encontramos.

A mi estimado Asesor:

➤ Mg. Ing. Carlos Humberto Alfaro Rodríguez

Por apoyarnos con sus observaciones para que este trabajo sea bien estructurado, un saludo cordial y que Dios lo bendiga siempre.

Asimismo, agradecemos a nuestros amigos y compañeros quienes fueron nuestra segunda familia en esta etapa universitaria.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema.....	19
1.2.1. Problema general .....	19
1.2.2. Problemas específicos .....	19
1.3. Objetivos .....	20
1.3.1. Objetivo general .....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Limitantes de la investigación .....	20
1.4.1. Limitante espacial.....	20
1.4.2. Limitante temporal.....	20
1.4.3. Limitante teórica .....	20
II. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Antecedentes .....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	23
2.2. Bases teóricas .....	26
2.2.1. Generación distribuida.....	26
2.2.2. Sistema eléctrico .....	29
2.3. Conceptual.....	39
2.4. Definición de términos básicos .....	40
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	41
3.1. Hipótesis .....	41
3.2. Definición conceptual de variables.....	41
3.3. Operacionalización de variable .....	42
IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....	43
4.1. Tipo y diseño de investigación .....	43
4.2. Método de investigación .....	43
4.3. Población y muestra.....	43

4.4. Lugar de estudio .....	44
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	46
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	46
V. RESULTADOS.....	47
5.1. Consideraciones generales.....	47
5.2. Análisis Situacional .....	49
5.3. Evaluación del potencial energético disponible.....	58
5.4. Análisis de confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná sin generación distribuida .....	67
5.5. Análisis de confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná con generación distribuida .....	69
5.6. Evaluación de la confiabilidad.....	71
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	72
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	72
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	73
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	74
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS .....	80
ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTÊNCIA.....	81
ANEXO N.º 02: Esquema Geográfico .....	82

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1.</b> Alimentadores con mayor número de interrupciones imprevistas en MT .....	15
<b>Figura 2.</b> Alimentadores con mayor número de interrupciones imprevistas en MT .....	15
<b>Figura 3.</b> Alimentadores con mayor número de interrupciones imprevistas en MT .....	16
<b>Figura 4.</b> Esquema unifilar con enlaces auxiliares .....	17
<b>Figura 5.</b> Esquema de conexión en estrella .....	35
<b>Figura 6.</b> Esquema de conexión en triangulo .....	36
<b>Figura 7.</b> Circuitos equivalentes .....	37
<b>Figura 8.</b> Ubicación de la SET San Vicente .....	43
<b>Figura 9.</b> Sectores típicos de distribución en la SET San Vicente.....	45
<b>Figura 10.</b> Ubicación geográfica del SET San Vicente.....	46
<b>Figura 11.</b> Esquema AT – SET San Vicente – Lunahuaná .....	48
<b>Figura 12.</b> SAIFI – Sector típico 3 .....	52
<b>Figura 13.</b> SAIDI – Sector típico 3.....	52
<b>Figura 14.</b> SAIFI por departamento .....	53
<b>Figura 15.</b> SAIDI por departamento.....	54
<b>Figura 16.</b> SAIFI – 2019 vs 2020.....	55
<b>Figura 17.</b> SAIDI -2019 vs 2020 .....	55
<b>Figura 18.</b> SAIFI por causas específicas en el 2019 .....	56
<b>Figura 19.</b> SAIDI por causas específicas en el 2019 .....	57
<b>Figura 20.</b> Dimensionamiento de paneles solares.....	59
<b>Figura 21.</b> Energía solar incidente diaria.....	60
<b>Figura 22.</b> Registro de radiación solar.....	61
<b>Figura 23.</b> Ubicación geográfica de la Generación Distribuida para el Alimentador CÑ02.....	63
<b>Figura 24.</b> Proyecto de Sistema Solar Fotovoltaico – Alim CÑ04.....	65
<b>Figura 25.</b> Potencial Solar CN04 .....	65
<b>Figura 26.</b> Resultados CÑ04 .....	66
<b>Figura 27.</b> Parámetros de confiabilidad – Alimentador CÑ04.....	68



<b>Figura 28.</b> Modelamiento del alimentador CÑ04 .....	68
<b>Figura 29.</b> Resultados de indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI - CÑ01	69
<b>Figura 30.</b> Escenario Post – falla.....	70
<b>Figura 31.</b> Análisis de Confiabilidad con Generación Distribuida .....	70
<b>Figura 32.</b> Resultados de los Indicadores de Confiabilidad con Generación Distribuida .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Secuencia de maniobras para la reposición del servicio eléctrico .....	18
<b>Tabla 2.</b> Reporte de nodos afectados en operación .....	18
<b>Tabla 3.</b> Tipos de generación distribuida .....	27
<b>Tabla 4.</b> Beneficios de la generación distribuida.....	28
<b>Tabla 5.</b> Información, motivos y sub motivos de una interrupción .....	39
<b>Tabla 6.</b> Operacionalización de variables .....	42
<b>Tabla 7.</b> Características del SET San Vicente .....	44
<b>Tabla 8.</b> Recorrido de alimentadores.....	45
<b>Tabla 9.</b> Cantidad de interrupciones imprevistas y programadas en el 2017 ..	50
<b>Tabla 10.</b> Cantidad de interrupciones imprevistas y programadas en el 2018	50
<b>Tabla 11.</b> Cantidad de interrupciones imprevistas y programadas en el 2019	51
<b>Tabla 12.</b> Indicadores SAIDI y SAIFI del sector típico 3 .....	52
<b>Tabla 13.</b> Indicador SAIFI por departamento .....	53
<b>Tabla 14.</b> Indicador SAIDI por departamento .....	54
<b>Tabla 15.</b> Causas del SAIFI .....	56
<b>Tabla 16.</b> Causas del SAIDI.....	57
<b>Tabla 17.</b> Registro de radiación solar en Lunahuaná – Cañete 2019 .....	62
<b>Tabla 18.</b> Información acerca del alimentador CÑ04 .....	64
<b>Tabla 19.</b> Interrupciones en el MT - 2018 .....	64
<b>Tabla 20.</b> Interrupciones en el MT - 2019 .....	65
<b>Tabla 21.</b> Parámetros de confiabilidad del alimentador CÑ04 .....	68
<b>Tabla 22.</b> Tolerancias del Sistema Eléctrico de Lunahuaná .....	71
<b>Tabla 23.</b> Mejora de indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI – Alim CÑ04	71

## **RESUMEN**

**Objetivo:** Determinar de qué manera la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.

**Metodología:** El tipo de investigación es aplicativo con un diseño cuasi experimental y un método cuantitativo, la población estuvo conformada por La subestación eléctrica de transmisión (SET) San Vicente.

**Resultados:** Se tiene unas 2215 interrupciones en las cuales se tiene 30900,08 Mwh de energía interrumpida de manera imprevista y 1674 interrupciones en las cuales se tiene 6955,75 Mwh de energía interrumpida de manera programada en el año 2017, se tiene unas 1945 interrupciones en las cuales se tiene 6501,03 Mwh de energía interrumpida de manera imprevista y 1624 interrupciones en las cuales se tiene 9180,70 Mwh de energía interrumpida de manera programada en el año 2018. El 57% de las ocasiones en las que se tiene un indicador SAIFI no se determina la causa, el 20% son trabajos de urgencia o emergencias, el 10% se deben a falta de mantenimiento, el 7% se debe a envejecimiento y el 6% se debe a deficiencia del material. El 64% de las ocasiones en las que se tiene un indicador SAIFI no se determina la causa, el 14% se deben a falta de mantenimiento, el 13% se debe a envejecimiento, el 4% son trabajos de urgencia o emergencias, el 3% se debe a deficiencia del material y el 2% se debe a robos o sustracciones.

**Conclusión:** La generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021

**Palabras Clave:** fotovoltaico, distribuida, confiabilidad.

## **ABSTRACT**

**Objective:** To determine how distributed photovoltaic generation improves the reliability of the Lunahuaná-2021 power system.

**Methodology:** The type of research is applicative with a quasi-experimental design and a quantitative method, the population consisted of the electrical transmission substation (SET) San Vicente.

**Results:** There are 2215 interruptions in which there are 30900.08 MWh of energy interrupted unexpectedly and 1674 interruptions in which there are 6955.75 MWh of energy interrupted in a programmed way in 2017, there are 1945 interruptions in which there are 6501.03 MWh of energy interrupted unexpectedly and 1624 interruptions in which there are 9180.70 MWh of energy interrupted in a programmed way in 2018. 57% of the occasions in which there is a SAIFI indicator the cause is not determined, 20% are emergency or urgent works, 10% are due to lack of maintenance, 7% are due to aging and 6% are due to material deficiency. In 64% of the cases in which there is a SAIFI indicator, the cause is not determined, 14% are due to lack of maintenance, 13% are due to aging, 4% are urgent or emergency works, 3% are due to material deficiency and 2% are due to theft or subtraction.

**Conclusion:** Distributed photovoltaic generation improves the reliability of the Lunahuaná-2021 electrical system.

**Key words:** photovoltaic, distributed, reliability.

## INTRODUCCIÓN

Alrededor de mundo en muchos países se considera la evaluación de la confiabilidad de un sistema de eléctrico en función de indicadores respecto a las interrupciones como lo son el SAIDI (Duración media de interrupción por usuario) y SAIFI (Frecuencia media de interrupción por usuario) los cuales están directamente relacionados a la calidad del suministro de energía eléctrica.

En el Perú cada vez se ve un incremento mayor y más relevante en el sector de la energía eléctrica ya que con las nuevas tecnologías se incrementa el consumo y esto promueve situaciones favorables al mercado de la producción de energía eléctrica.

El Osinerming se refiere a la generación distribuida como una variedad de tecnologías que generan electricidad en o cerca del lugar donde se utilizará, también es conocida como generación *in-situ* o descentralizada. El Osinerming es el encargado de regular y realizar las fiscalizaciones eléctricas.

Ello motivo a desarrollar la presente investigación centrándose en de qué manera la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En la actualidad los diferentes agentes del sector eléctrico tales como la generación, transmisión y distribución buscan mejorar la calidad del servicio eléctrico entregada a los usuarios finales, sobre todo la calidad del suministro que se ve reflejado en las interrupciones. El sector que más aporta a estas últimas corresponde a los sistemas de distribución ya que se encuentran en constante expansión debido al crecimiento de la demanda y por ende hace falta realizar reforzamiento de redes o ajustes en los sistemas de protección ya que son puntos de inflexión que pueden con llevar a fallas y por lo tanto a interrupciones intempestivas del suministro. Por esa razón nos enfocamos en la presente tesis en el Sistema Eléctrico de Lunahuaná el cual representa la zona rural de la provincia de Cañete, este sistema se caracteriza por presentar un alimentador radial y estar conformado en su mayor parte por redes aéreas, motivo por el cual está expuesta a constantes fallas tales como contacto de aves con las redes, cometas, embestida o choque de vehículos, cruce de líneas, los cuales generan una interrupción en los suministros, paralizando procesos de producción, generando malestar social y perjudicando equipos médicos y demás.

La reposición del suministro de estas interrupciones toma mucho tiempo ya que los usuarios finales tienen que reportar la falta de suministro para que la empresa distribuidora pueda mandar una cuadrilla de operadores los cuales realizaran una inspección de las redes para localizar la falla aparente, aislarla, repararla y luego proceder a normalizar el servicio eléctrico. Durante todo este tiempo los usuarios afectados aguas abajo del punto de falla no tienen opción de ser reestablecidos parcialmente por alguna otra fuente de energía ya que están conectados a un alimentador radial puro con ausencia de enlaces auxiliares por lo que se ven obligados a paralizar sus actividades. Esto refleja la baja confiabilidad por parte de las empresas distribuidoras en algunos sistemas eléctricos por lo cual están obligados a plantear mejoras para lograr satisfacer los estándares de calidad del servicio propuestos por el OSINERGMIN tal como

el procedimiento 074 donde se puede apreciar las tolerancias permisibles de confiabilidad que deben de entregar anualmente a sus usuarios.

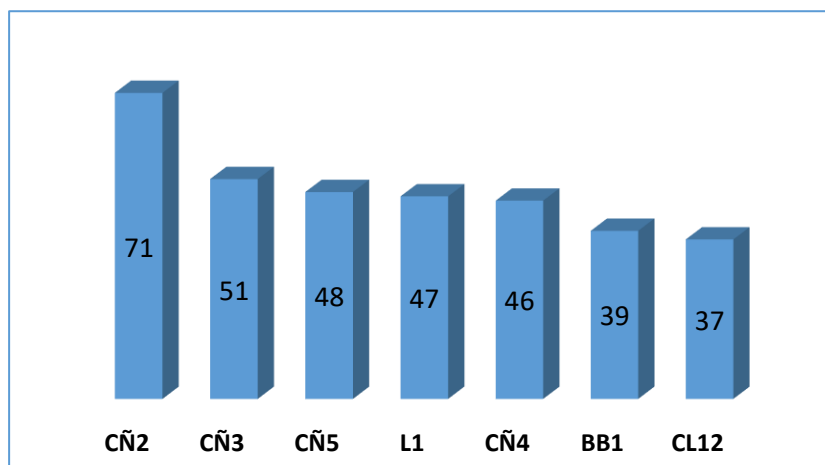
Con la finalidad de cumplir la NTCSE las empresas distribuidoras de energía intervienen frecuentemente en sus redes realizando reformas, puestas en servicio de nuevos alimentadores, cambio de tecnologías, todo esto para mejorar su desempeño y asegurar la continuidad del suministro a sus clientes.

En los últimos años las redes de distribución de Luz del Sur se han ido expandiendo de forma progresiva, aumentando incluso su zona de concesión con la absorción de la empresa distribuidora Edecañete S.A. en el 2016, quienes estaban conformados por los sistemas eléctricos de Cañete y Lunahuana. Por esta razón se hace cada vez más complejo la operación de sus redes de distribución debido al tamaño de su concesión y se requiere de nuevas metodologías para poder dar respuesta de forma oportuna a las interrupciones del servicio eléctrico.

Es impredecible la ocurrencia de interrupciones en el servicio eléctrico, estas se presentan por diferentes causas, algunas originadas por agentes externos y otras son imputable al sistema, es decir por un mal diseño de la red, mala ejecución de maniobras o por envejecimiento de sus componentes. Esto se ha registrado con mucha frecuencia en los últimos años en el Sistema Eléctrico de Cañete, sobre todo en el presente año 2020 en el cual se ha visto interrumpido los mantenimientos programados descuidándose el estado de los componentes de la red de distribución, esta serie de interrupciones en el servicio eléctrico ha generado un malestar en los clientes receptores de energía ya que se ven interrumpido sus actividades diarias como el trabajo remoto, así como también perjudicando el funcionamiento adecuado de lugares públicos como los hospitales, los cuales en esta temporada de crisis sanitaria son muy importantes. Estos cortes imprevistos no solo generan un impacto social en los usuarios finales sino también económicos para la empresa distribuidora ya que están obligados a compensar a sus clientes por la mala calidad del suministro entregada.

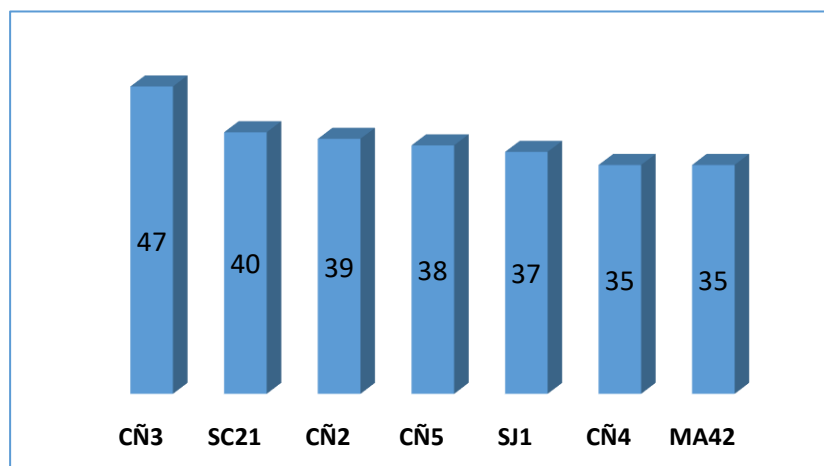
La topología de los alimentadores primarios es un factor que influye en la baja confiabilidad del Sistema Eléctrico de Cañete, el cual se puede ver reflejado en

los indicadores de calidad SAIDI y SAIFI los cuales se calculan para cada sistema eléctrico con periodicidad anual. Estos indicadores los emplea la autoridad para evaluar el desempeño de las redes de distribución y los valores los corrobora a partir del reporte de interrupciones que realiza cada empresa distribuidora en cumplimiento al procedimiento de supervisión N°074-2004-OS/CD “Supervisión de la Operación de los Sistemas Eléctricos”.



**Figura 1.** Alimentadores con mayor número de interrupciones imprevistas en MT

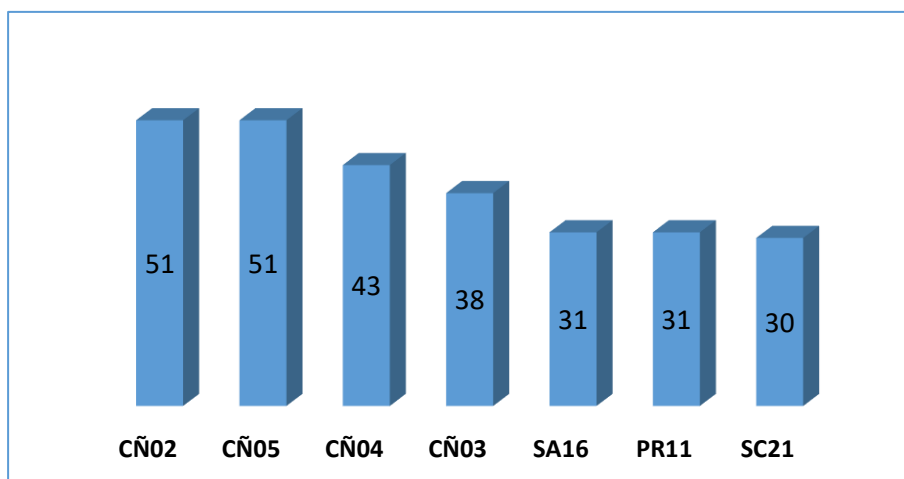
Fuente: Base de datos - Luz del Sur (2018)



**Figura 2.** Alimentadores con mayor número de interrupciones imprevistas en MT

Fuente: Base de datos - Luz del Sur (2018)





**Figura 3.** Alimentadores con mayor número de interrupciones imprevistas en MT

Fuente: Base de datos - Luz del Sur (2018)

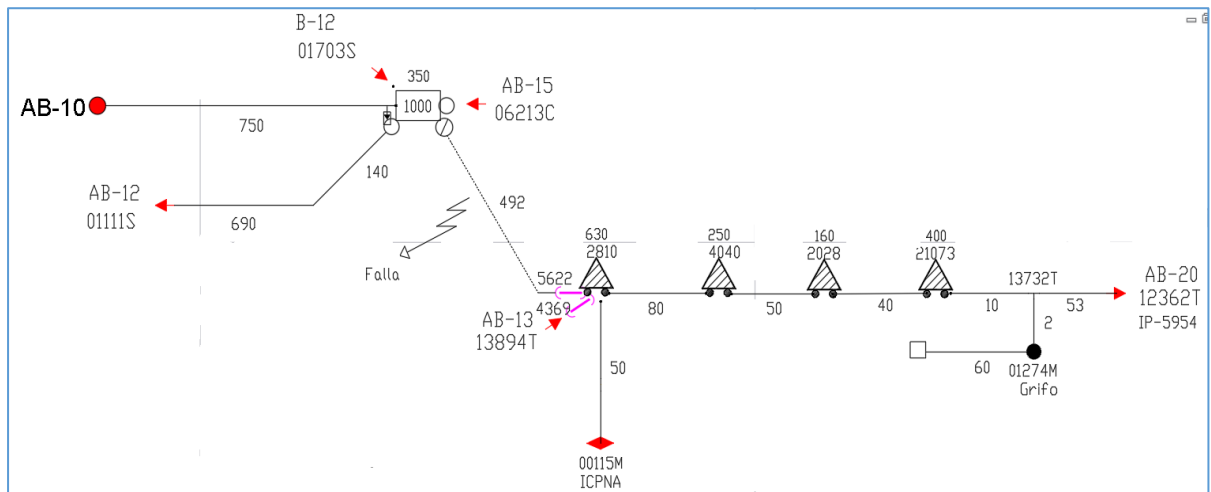
Como se puede apreciar en los gráficos de barra, existe una alta incidencia de interrupciones en Media Tensión correspondiente a los alimentadores del Sistema Eléctrico de Cañete, lo cual refleja una deficiencia en la calidad del suministro.

El método que se emplea para reestablecer el servicio eléctrico ante alguna incidencia es el siguiente, cuando se trata de salidas imprevistas de alimentadores de distribución por apertura de interruptores en las cabeceras son identificadas rápidamente por los operadores de centro de control ya que se puede apreciar la pérdida considerable de carga mediante el Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA).

Sin embargo existen interrupciones parciales en los cuales solo salen fuera de servicio un ramal del alimentador o una cantidad determinada de nodos, el único medio a través del cual las empresas distribuidoras pueden darse cuenta de una posible falta de suministro eléctrico son las llamadas de los clientes informando una interrupción en su suministro, con esta serie de llamadas y con la información recopilada, fono luz utiliza un algoritmo llamado "Sistema de predicción" que le permite hacer un muestreo e identificar la zona y magnitud de la interrupción.

Esta serie de llamadas son derivadas a sala base quienes administran todas las interrupciones en Baja Tensión, si la interrupción fuese de mayor magnitud

entonces sala base lo deriva a centro de control, quienes se encargan de gestionar todas las interrupciones correspondientes a Media Tensión, estos últimos envían una cuadrilla de operadores al campo para su inspección y determinación de las posibles causas de la interrupción, para luego localizar la falla, aislarla, repararla y reponer el servicio eléctrico.



**Figura 4. Esquema unifilar con enlaces auxiliares**

Fuente: Elaboración propia del autor

Para reestablecer el servicio la cuadrilla de operadores en coordinación con centro de control evalúa el circuito interrumpido y ejecutan las maniobras más favorables de tal forma que pueda minimizarse el impacto de la interrupción, es decir el tiempo de restauración del servicio y la cantidad de clientes afectados. Asumiendo que en el tramo subterráneo S01000 – SAB 02810 el cable fue picado y seccionado por terceros originando una falla permanente la cual es despejada por el Interruptor de la subestación convencional 01000, dejando fuera de servicio aguas abajo un total de 6 nodos, entonces se procede a ejecutar las maniobras siguientes para reponer el suministro.

**Tabla 1. Secuencia de maniobras para la reposición del servicio eléctrico**

No. Maniobra	Tipo	Dispositivo	Descripción	F.H. Ejecución	Asignado a	Alim.
1	ABR	INT.MT(SE.01000 > SAB.02810)	Abrir	24/09/2020 05:00:00	PROTECCIÓN	AB10
2	ABR	PDS.5622 (< SAB.02810)	Abrir	24/09/2020 06:15:00	Operador	AB10
3	CERR	IP.5954 (<13732T)	Cerrar	24/09/2020 07:00:00	Operador	AB20
4	ABR	IP.5954 (<13732T)	Abrir	24/09/2020 14:30:00	Operador	AB20
5	CERR	PDS.5622 (< SAB.02810)	Cerrar	24/09/2020 14:45:00	Operador	AB10
6	CERR	INT.MT(SE.01000 > SAB.02810)	Cerrar	24/09/2020 15:00:00	Operador	AB10

Fuente: Elaboración propia del autor

**Tabla 2. Reporte de nodos afectados en operación**

NR O	CODIGO	SET	ALM D	CLIENTES	KVA INSTALADO	DURACIÓN (H)	FH INICIO	FH FINAL
1	02810A	AB	10	350	630	2.0	24/09/2020 05:00:00	24/09/2020 07:00:00
2	04040A	AB	10	120	250	2.0	24/09/2020 05:00:00	24/09/2020 07:00:00
3	02028A	AB	10	85	160	2.0	24/09/2020 05:00:00	24/09/2020 07:00:00
4	21073A	AB	10	160	400	2.0	24/09/2020 05:00:00	24/09/2020 07:00:00
5	00115M	AB	10	1	200	2.0	24/09/2020 05:00:00	24/09/2020 07:00:00
6	01274M	AB	10	1	250	2.0	24/09/2020 05:00:00	24/09/2020 07:00:00
7	02810A	AB	10	350	630	0.5	24/09/2020 14:30:00	24/09/2020 15:00:00
8	04040A	AB	10	120	250	0.5	24/09/2020 14:30:00	24/09/2020 15:00:00
9	02028A	AB	10	85	160	0.5	24/09/2020 14:30:00	24/09/2020 15:00:00
10	21073A	AB	10	160	400	0.5	24/09/2020 14:30:00	24/09/2020 15:00:00
11	00115M	AB	10	1	200	0.5	24/09/2020 14:30:00	24/09/2020 15:00:00
12	01274M	AB	10	1	250	0.5	24/09/2020 14:30:00	24/09/2020 15:00:00

Fuente: Elaboración propia del autor

Puede apreciarse del reporte de nodos afectados en operación que estos fueron afectados por un tiempo total de 2.5 horas, este tiempo breve de interrupción se

debió a que los nodos fueron trasladados a otro alimentador, esto fue posible ya que las condiciones de la red lo permitieron y porque el circuito en cuestión presenta una serie de enlaces auxiliares para realizar traslados de carga.

El método explicado se emplea para interrupciones imprevistas en media tensión y con presencia de enlaces auxiliares, sin embargo, no todos los alimentadores primarios cuentan con la posibilidad de traslados de carga ya que inicialmente no se consideraron en su diseño y debido al crecimiento de sus redes es posible que actualmente no cumplan las condiciones de flujo de carga.

Esto nos lleva a comprender la necesidad de contar con fuentes alternas de energía para restaurar el servicio eléctrico de forma óptima y minimizar el impacto de las interrupciones en los indicadores de confiabilidad.

Por esta razón en la presente tesis se opta por plantear la generación distribuida en el sistema eléctrico de cañete ya que sus alimentadores primarios radiales no cuentan con enlaces auxiliares, esto con la finalidad de optimizar los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI.

Estos clientes pertenecen a los distritos de San Vicente, San Luis, Quilmana, Cerro Azul e Imperial.

Por lo indicado anteriormente es necesario optar por nuevas fuentes de energía renovable que puedan contribuir a la mejora de la confiabilidad en el Sistema Eléctrico de Lunahuaná, por ello se plantea la generación distribuida fotovoltaica para ese fin.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera la ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?

- ¿De qué manera el dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?
- ¿De qué manera los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar de qué manera la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar de qué manera la ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.
- Determinar de qué manera el dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.
- Determinar de qué manera los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.

### **1.4. Limitantes de la investigación**

#### **1.4.1. Limitante espacial**

La investigación se realizó en el ámbito de la empresa de Distribución Eléctrica lo cual nos permitió trabajar bajo la disponibilidad de dicha empresa.

#### **1.4.2. Limitante temporal**

Es de las principales limitantes que tiene la investigación dado que es un proceso que demora y que se debe llevar a cabo cumpliendo con las normativas.

#### **1.4.3. Limitante teórica**

Se hizo uso de la información que posea el Ministerio de Energía y Minas, Fondo de Financiamiento de la Actividad Empresarial del Estado y de las empresas distribuidoras de servicio eléctrico por ende estuvo sujeto a la disponibilidad de dichas organizaciones.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En el estudio realizada por Espinoza Surco y Beltrán Palomino (2016) la cual estuvo titulada como “Mejoramiento del sistema eléctrico de la ciudad de puerto Maldonado en media tensión” y tenía como objetivo desarrollar el diagnóstico de calidad de energía, de los niveles de tensión en la subestación alimentadora de la ciudad de Puerto Maldonado de acuerdo al crecimiento de las futuras demandas eléctricas, adecuado a la Norma Técnica De Calidad De Los Servicios Eléctricos. La investigación es descriptiva con un enfoque cuantitativo experimental. La población estuvo constituida por los datos de referencia de las lecturas de los analizadores de redes de cada una de los alimentadores del sistema eléctrico de Puerto Maldonado. Las conclusiones a las que se llegó fue que los medios por los cuales se pueden corregir las caídas de tensión son los bancos de capacitores de 6 Mvar para reducir los niveles de tensión hasta niveles permisibles de caídas de tensión y también sistemas SVS de 2Mvar y la mejor alternativa para lograr reducir la caída de tensión a niveles permisibles son los bancos de capacitores dado que la inversión económica que necesitaría sería mucho menor a la de sistemas SVS.

En la investigación realizada por España González (2008) la cual estuvo titulada como “Generación distribuida por medio de energías alternas renovables y su influencia en la evolución del sistema eléctrico secundario de distribución tradicional” y tenía como objetivo definir las bases de conocimiento para que el sistema eléctrico de potencia nacional evolucione hacia la tecnología de la generación distribuida, reconozca sus costos y beneficios, y la implante como la nueva tendencia hacia la aplicación de políticas favorables para el uso de recursos renovables y servicios de mayor calidad basado en principios verdes, y

poder asegurarle cabida dentro del sistema. El estudio es de tipo experimental explicativo con un enfoque transversal. Las conclusiones a las que se llego fue que la Generación distribuida mediante energías alternas renovables, se presenta como la alternativa más viable y efectiva a corto plazo para aliviar los problemas provenientes de un crecimiento radial de la demanda de energía, así como la dependencia de los combustibles fósiles derivados del petróleo para generación de energía eléctrica a grandes escalas.

En el estudio realizado por R. Ferreiro (2011) titulado como “Generación Distribuida: ¿Un camino hacia la sustentabilidad energética de Argentina?” el cual tuvo como objetivo evaluar la factibilidad de implementar generación distribuida de energía eléctrica en Argentina evaluando los recursos presentes en el territorio y la viabilidad económica desde el punto de vista del usuario. El estudio es de tipo descriptivo analítico. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que la generación distribuida ofrecería una mayor eficiencia reduciendo de manera significativa las pérdidas del sistema ofreciendo una mayor cercanía a la demanda, ofrecerá una mayor resiliencia es decir que se diversifica la matriz energética mediante la implementación de unidades de generación que utilizan fuentes de energía más variadas. También tendremos una reducción de emisiones de GHG y se podrá proveer servicios auxiliares como la mejora del funcionamiento del sistema con ciertas tecnologías.

En la investigación realizada por Grisales, Restrepo y Jaramillo (2017) la cual estuvo titulada como “Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida: Una revisión” y tuvo como objetivo presentar las consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de analizar, modelar y solucionar el problema de ubicación y dimensionamiento de Generación Distribuida en la red eléctrica de distribución. El estudio fue de carácter descriptivo-analítico con un diseño no experimental. Las conclusiones de la investigación fueron que la integración de GD puede verse como una ayuda al sistema de distribución desde dos tópicos: permite suplir el aumento de la demanda, utilizando los activos existentes, y además puede impactar de forma positiva las condiciones operativas de la red, siempre y cuando se realice una adecuada ubicación y dimensionamiento de los generadores. Para su integración se debe tener en cuenta la necesidad

técnica o económica por parte del OR o agente interesado, el modelo matemático del problema y la técnica de optimización por implementar. La interpretación de los resultados obtenidos depende del modelo de la carga utilizado, puesto que, según el modelo aplicado, se estará analizando una hora específica o un panorama del tiempo.

En la investigación realizada por Correa y Rojas (2017) la cual estuvo titulada como “Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas” y tuvo como objetivo proponer una metodología del diseño, desarrollo y aplicación para el apoyo a la toma de decisiones multicriterio. El estudio fue de carácter aplicativo-descriptivo. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que se ha proporcionado un marco metodológico para la aplicación de métodos multicriterio AHP y VIKOR a la planificación o diseño de sistemas de suministro eléctrico en áreas rurales o remotas de países en vías de desarrollo, cuya efectividad ha quedado evidenciada en el estudio de un caso real en el municipio de Puerto Lleras (vereda las Gaviotas), para lo cual se han utilizado alternativas óptimas multiobjetivo para la generación descentralizada, y múltiples criterios de orden técnico, económico, ambiental y social en la toma de decisiones. De esta manera, se ha abordado el problema de planificación de la generación distribuida para áreas rurales, con una visión holística lo que implica la integración de criterios ambientales y sociales, además de los convencionales (técnicos y económicos), en la toma de decisiones, conduciendo al tratamiento de un problema multidimensional.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la investigación realizada por Mayta Roque (2019) la cual estuvo titulada como “Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro” y tuvo como objetivo evaluar el efecto en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018. El estudio fue de carácter analítico con un diseño no experimental transversal



explicativo. La población estuvo conformada por el total de alimentadores dentro del sistema eléctrico del valle de Mantaro. Los resultados demuestran que la protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro, toda vez que en casos de fallas dentro del sistema se activan otros interruptores para asegurar la calidad del servicio de energía. Dentro de las conclusiones obtenidas se determinó que la protección del sistema eléctrico de distribución mediante relevadores electromecánicos afecta de manera positiva en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el alimentador A4502, se vio que la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad.

En la investigación realizada por Villar Mendoza (2019) la cual tiene como título “Evaluación de ventajas técnicas para la inclusión a la norma técnica peruana el análisis de respuesta en frecuencia para el diagnóstico de transformadores de potencia” y tuvo como objetivo el objetivo de la investigación es demostrar la necesidad de incluir esta prueba a la norma técnica peruana para complementar las técnicas de detección de cambios mecánicos y eléctricos del conjunto del núcleo y del devanado de transformadores de potencia. El estudio es de diseño no experimental con su variante transversal. La población estuvo conformada por el inventario de equipos de transformación desde el nivel de tensión de 60 kV hasta 500Kv. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que la prueba de barrido de análisis de respuesta es una necesidad para la complementación de las pruebas que se viene realizando en la normativa peruana IEC 60076-I. Existen altas posibilidad de falla de un transformador de potencia en la etapa de transporte lo cual ocasionaría aceleraciones bruscas y provocaría problemas en distancias mínimas de seguridad del diseño del transformador.

En la investigación realizada por Simeon Pucuhuayla (2019) la cual fue titulada “Ubicación óptima del seccionador fusible para mejorar los indicadores SAIDI y SAIFI en el sistema eléctrico rural de Ayacucho” y tenía como objetivo ubicar óptimamente los seccionadores fusibles para mejorar los indicadores SAIDI y SAIFI del sistema eléctrico rural de Ayacucho. La investigación es de tipo aplicada a nivel explicativo y con un método descriptivo experimental. La

población estuvo constituida por 3 líneas del alimentador A4006, A4007 y A4008. Las conclusiones a las que se llegó fue que al ubicar adecuadamente el seccionador fusible disminuimos óptimamente los indicadores SAIDI y SAIFI del sistema eléctrico rural de Ayacucho, viendo el aporte que cada seccionador instalado tiene en la disminución de los indicadores SAIDI y SAIFI; y la cantidad adecuada de seccionadores que debemos instalar, viene dada por el porcentaje de disminución que cada seccionador reduce el valor de SAIDI y SAIFI, siendo el rango de este valor de 4 a 5 %, porque cuando el valor de reducción sea menor ya no influye mucho en la reducción haciéndose antieconómico.

En la investigación realizada por Vargas y Ramírez (2017) la cual fue titulada como “Determinación de polos de generación distribuida a partir de biomasa residual agrícola en la región Madre de Dios, Perú” y tenía como objetivo la determinación de polos de generación distribuida a partir de biomasa residual agrícola en la región de Madre de Dios. La investigación es de tipo descriptivo-analítico de diseño experimental. Los resultados obtenidos fueron que se determinaron cinco centros poblados rurales priorizados en Madre de Dios para la energización. En cuanto a la biomasa residual agrícola, ésta se estimó en 6645.08 ton/año para arroz, 5191.20 ton/año para maíz amarillo duro y 7862.37 ton/año para plátano, los tres cultivos mayoritarios en la región. Se estimó que, para el aprovechamiento de cascarilla de arroz, el rango de generación de energía varía de 838.86 a 1319.23 KWh/año mediante gasificadores de lecho móvil, y de 317.99 a 897.56 KWh/año para gasificadores de lecho fluidizado, con lo cual se cubriría la demanda energética de los centros poblados rurales priorizados, que asciende a 211.9 MWh/año. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que a región de Madre de Dios cuenta con potencial de generación de energía eléctrica distribuida que puede cubrir la demanda de los cinco centros poblados priorizados al 100%. Asimismo, la energía generada en la región Madre de Dios mediante lecho fluidizado podría atender la demanda de 1495 habitantes aproximadamente, mientras que mediante lecho móvil se cubriría la demanda de 3945 habitantes aproximadamente.

En la investigación realizada por Cornejo Solórzano (2017) la cual estuvo titulada como “Generación distribuida en redes secundarias en Arequipa” y tuvo como

objetivo evaluar la influencia de la generación distribuida en los parámetros de una red secundaria de la ciudad de Arequipa, por la inserción de plantas de generación fotovoltaica. La investigación es de tipo aplicada. Las conclusiones obtenidas fueron que en el Perú no está definida la reglamentación de la Generación Distribuida a niveles de redes secundarias, en Arequipa tiene potencial para la generación distribuida fotovoltaica por su ubicación geográfica, es factible la micro generación distribuida fotovoltaica para los diferentes consumos de las viviendas, la generación distribuida fotovoltaica, puede suministrar toda la energía necesaria para muchos hogares, siendo el costo de implementación el único inconveniente, la generación distribuida mejora el comportamiento de los niveles de tensión en las redes secundarias, ubicación de las plantas fotovoltaicas de generación distribuida se puede optimizar y lograr mejores características de respuestas y es factible la aplicación a niveles de media y alta tensión.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Generación distribuida**

Como indica R. Ferreiro (2011), "Se define la generación distribuida de manera sencilla como generación por muchas instalaciones pequeñas que cubren el trabajo de una central grande, el concepto de dividir la generación en múltiples instalaciones es algo común en el mundo de la electricidad ya que permite un control más preciso."

La generación distribuida tiene la misma capacidad que un generador convencional teniendo una capacidad máxima entre 50MW a 100MW los cuales pueden ser distribuidos de las diversas instalaciones los cuales se plantean bajo la idea de un trabajo descentralizado, teniendo esto en cuenta los generadores que funcionan con operadores de red de transporte eléctrico no pueden ser considerados generación distribuida, ya que la generación en esos casos se da de manera centralizada y es transportada a diversos puntos, las instalaciones de la generación distribuida tienen la capacidad de diferenciar entre una energía generada de manera dispersa o una compuesta.

La generación distribuida cuenta con beneficios tales como:

- Permite generar cantidades altas de energía y de manera eficiente usando mucho menos personal.
- Trabaja con redes de transporte para energía de alta tensión que permiten aprovechar de manera más eficaz los generadores reduciendo el trabajo en la generación de reserva de potencia.
- Cuenta con una red de distribución que facilita el suministro por cada uno de los usuarios.

Según Gischler y Janson (2011), la generación distribuida se concibe como una idea de conexión de red de distribución, es decir para entender como funciona se debe conocer lo que es una red de distribución. Las redes de distribución se rigen a las normativas del país acerca de la transmisión y distribución, al tamaño del mercado energético y el nivel máximo de voltaje.

Las diferencias entre las normativas que se manejan en los países pueden ser bastante grandes teniendo así que un sistema convencional con una capacidad de transmisión y distribución puede ser considerado generación distribuida en otro país y en otros puede ser considerado únicamente a escala de empresas u otros servicios públicos. Si los sistemas de distribución cuentan con capacidad máxima de 110kV se entiende que la central de energía eléctrica cuenta con sistemas eléctricos que oscilan entre los 100MW y los 150 MW, no quiere decir que sean las únicas medidas de energía que se usen en las centrales ya que en diversos sistemas eléctricos se suelen usar más bajos.

**Tabla 3.** Tipos de generación distribuida

	Pequeña escala	Escala comercial	
Conexión	Carga del usuario	Carga del usuario	Red de distribución
Venta de electricidad	Generación excedente	Toda la generación	Toda la generación
Sectores	Residencial, no residencial	No residencial	No residencial
Principales tecnologías de ER	Solar fotovoltaica,	Cogeneración industrial (CHP)	Solar, eólica, hidroeléctrica,

	eólica, hidráulica		cogeneración con biomasa
<b>Tamaño aproximado</b>	Hasta 100 kW	Hasta 1 MW	Más de 1 MW

*Fuente: Gischler y Janson (2011)*

**Tabla 4.** Beneficios de la generación distribuida

<b>Beneficiado</b>	<b>Beneficio</b>
<b>Consumidor</b>	La generación distribuida permite el uso de agentes activos lo cual implica una atención directa de la generación, venta de electricidad autogenerada y almacenamiento todo ello de forma organizada.
<b>Utilidades</b>	La generación distribuida promueve un cambio en los proveedores ya que ahora no serian solo de productos sino de un servicio como tal y tendrían la labor de adaptar constantemente a las necesidades del mercado esto repercute en gran medida ya que ahora deberán ir integrándose y actuando de la mano del cliente. Así mismo los proveedores ya no trabajarán en función de un producto sino con una red multidireccional mediante la cual puedan gestionar la energía eléctrica y la información que proviene de los clientes y de cada instalación, ya que dejó de ser un sistema centralizado y por lo tanto se tiene la facilidad de un control en tiempo real.
<b>Red eléctrica inteligente</b>	La generación distribuida hace uso de redes eléctricas inteligentes es decir usan sensores que permiten el control y monitoreo de cualquier proceso de operación y mantenimiento, esto

	<p>permite contar con una seguridad alta del sistema eléctrico.</p> <p>Así mismo las redes inteligentes permiten gestionar y otorgar plantas productoras en cada una de las micro plantas de tal modo que se pueda generar energía para el autoconsumo y para los clientes finales, este planteamiento se daría solo con un análisis de la demanda energética para comprobar si existe dicha necesidad.</p>
<b>Coche eléctrico</b>	<p>Con la generación distribuida también surgen nuevas formas y elementos de almacenar la energía eléctrica dando pie a una integración de las energías renovables, uno de los casos mas particulares en los cuales se da dicho beneficio es en los coches eléctricos los cuales cuentan con una batería de almacenamiento, los cuales pueden ser cargados en ciertas estaciones que generen energía eléctrica tal como lo haría un celular pero a una mayor escala, esto se daría mediante el concepto de baterías de almacenamiento repartidas en cada uno de los puntos de carga también conocidas como baterías dinámicas, esto permite la carga de energía en puntos lejanos al donde origino dicha energía.</p>

Fuente: Elaboración propia del autor

### **2.2.2. Sistema eléctrico**

Según Retamozo Guere (2018), "El sistema eléctrico tiene como principales funciones la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica para los cuales hace uso de elementos y herramientas que le permitan dichas funciones, los sistemas eléctricos esta categorizados entre dos grandes grupos,

por un lado, están los sistemas eléctricos interconectados y por otro tenemos a los sistemas eléctricos aislados.”

Un sistema eléctrico debe poseer la capacidad de suministrar energía eléctrica controlada que permita el uso de herramientas y accesorios eléctricos, dicho suministro se da en función de un conjunto de dispositivos y mecanismos, sin embargo, no solo debe suministrarla según la demanda energética, debe almacenarla y distribuirla, permitiendo a los clientes hacer uso de la misma para uso de electrodomésticos, alumbrado entre otros.

La energía eléctrica antes de llegar al usuario final pasa por un proceso que tiene sus inicios en las centrales eléctricas, en dichas centrales se genera la energía eléctrica para cubrir la demanda de toda la zona establecida, la generación se da mediante una turbina que gira a altas velocidades permitiendo que el alternador también gire lo cual genera corriente alterna sinusoidal, esta corriente tiene entre los 6000 y 23000 voltios, con este proceso de generación energética ya tenemos la energía, acto siguiente dicha energía debe ser almacenada y transportada.

El transporte de energía eléctrica es parte fundamental de un sistema eléctrico dado que tiene como finalidad conectar la central de energía eléctrica con cada uno de los puntos de distribución de energía eléctrica y posteriormente hacerla llegar al usuario final, haciendo uso de una línea de transporte que permita la conexión con una estructura de malla se puede conseguir interconectar la energía con puntos muy alejados y en cualquier dirección que se encuentren.

Algunos de los conceptos que se deben considerar para poder entender los sistemas eléctricos son:

- Intensidad:

La intensidad de energía eléctrica es la cantidad de energía que pasa por una sección de un conductor en un segundo, dicha medida permite saber la cantidad de recursos energéticos que serán necesarios y es medida en Amperios. Es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{Q}{t}$$

$I = \text{Intensidad}$

$Q = \text{Cantidad de electrones}$

$t = \text{tiempo}$

- Potencial eléctrico y fuerza electromotriz

El potencial eléctrico es el trabajo que le cuesta a una sola unidad el mover una carga eléctrica a través de un campo electrostático, desde su punto de inicio hasta un punto final sin tener en cuenta el componente de rotación del campo eléctrico, dicho transporte de carga eléctrica debe darse a una velocidad constante. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$V = \frac{W}{q}$$

$V = \text{Potencial electrico}$

$W = \text{trabajo}$

$q = \text{c arg a}$

La fuerza electromotriz es toda energía proveniente de una fuente de corriente, esto se da mediante una diferencia entre ambos polos de una fuente, dicha fuente debe tener la capacidad de emitir energía por medio de un circuito cerrado.

- Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica es una fuerza que se opone al conductor de energía, a dicho conductor se le suministra una diferencia del potencial eléctrico de un voltio, por lo tanto, es atravesado por la intensidad de un amperio. Es calculado mediante la siguiente formula:



$$R = \frac{V}{I}$$

$R =$  Resistencia

$V =$  Voltaje

$I =$  Intensidad

- Tipos de corriente

Se tienen dos tipos de corriente las cuales son:

Corriente continua: La corriente continua es la que viaja a través de un circuito, pero siempre en una sola dirección y no tiene cambios en su dirección en el tiempo.

Corriente alterna: La corriente alterna es la que al trasladarse dentro de un circuito cambia de dirección cada tiempo establecido, este tipo de energía es más eficiente.

- Tipos de cargas

La impedancia de un circuito es la fuerza que se opone al avance de la corriente alterna y es medida en ohmios.

Se tienen tres tipos de cargas las cuales son:

Cargas resistivas: La finalidad de este tipo de carga es el convertir la energía eléctrica en energía de calor mediante el efecto de Joule para lo cual se tiene en consideración la resistencia que opone el material para ello se aplica la Ley de Ohm, la resistividad se trabaja en función del material ya que cada uno tiene valores diferentes. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

$R =$  Resistencia

$\rho =$  resistividad

$L =$  Longitud

$S =$  grosor

Cargas capacitivas: Este tipo de carga tiene en cuenta las características físicas y la frecuencia, por lo cual en una primera instancia toma una potencia aparente para posteriormente regresar a una potencia reactiva en base a la fuente, realizándolo de este modo no se consume energía eléctrica. Cuando un condensador está cargado también lo está la armadura del mismo, al poseer la misma carga estas se repelen en la corriente alterna, por ello se tendrán situaciones en las que el condensador se descargara y otras situaciones en las que la tensión será mínima. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$X_c (\Omega) = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

$\omega =$  Velocidad angular

$C =$  Capacidad del condensador

$f =$  Frecuencia

Cargas inductivas: Este tipo de cargas se generan mediante bobinas en el momento que estas bobinas generan un campo magnético, sin embargo, es de considerar que esta carga no es algo constante ya que se da en función de la inductividad y la frecuencia de la bobina. Es calculo mediante la siguiente formula:

$$X_L (\Omega) = 2\pi fL$$

$L =$  Inductancia

$f =$  Frecuencia

- Clases de potencia

La potencia eléctrica es el trabajo de un dispositivo para generar energía y se mide en watios/hora o kw/hora. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$P = I(t) \times V(t)$$

$$P = I^2 \times R \rightarrow P = \frac{V^2}{R}$$

Se tiene 3 clases de potencia las cuales son:

Potencia activa: Es la potencia que es conocida como la útil, es decir es la que se usa realmente, es la potencia que usa cualquier equipo eléctrico para funcionar. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$P = V \times I \times \cos(\varphi)$$

Potencia reactiva: Esta potencia se da en los dispositivos que cuentan con una bobina la cual crea un campo electromagnético, dichas bobinas consumen potencia activa y reactiva, por ello el cálculo de su potencia depende de la eficiencia de trabajo. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$P_Q = V \times I \times \text{sen}(\varphi)$$

Potencia aparente: Esta potencia es la suma de una potencia activa y una aparente, así es como se calcula la potencia de los generadores de una planta eléctrica. Es calculado mediante la siguiente formula:

$$P_s = V \times I$$

$$S = P + Q$$

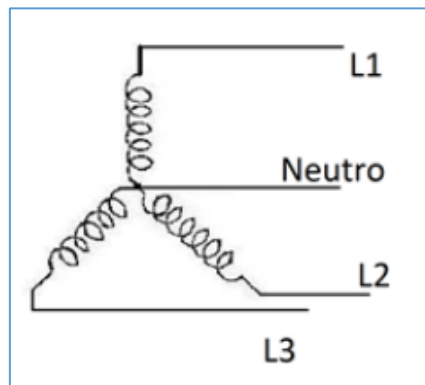
Un factor de potencia es una relación entre el ángulo de voltaje y la intensidad y se da través de la siguiente formula:

$$fdp = \cos(\varphi)$$

- Tensión de línea y tensión de fase en sistemas trifásicos

Conexión en estrella:

Una conexión en estrella es cuando los devanados de fase del generador se conectan en un mismo punto final y sus inicios estén conectados a conductores de la línea de distribución.



**Figura 5.** Esquema de conexión en estrella

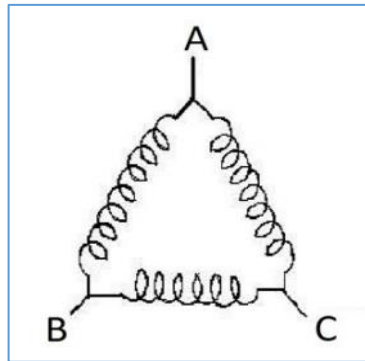
*Fuente: Gobierno de Aragon-Plataforma E-ducativa aragonesa*

En un sistema en equilibrio con esta conexión cada una de las fases están desfasadas  $120^\circ$  pero en un sistema desigual la corriente que atraviesa por el neutro es la siguiente:

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

## Conexión en triángulo

La conexión en triángulo se da de la siguiente manera el inicio del punto A está conectado al final del punto B, el inicio de B se conecta al final del punto C y el inicio del punto C se conecta al inicio del punto A. En cada eje de unión se establecen los conductores de línea.



**Figura 6.** Esquema de conexión en triángulo

*Fuente: Gobierno de Aragon-Plataforma E-ducativa aragonesa*

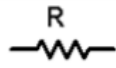
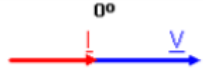
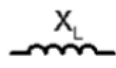

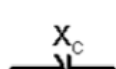
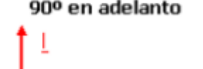
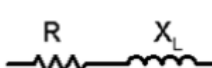
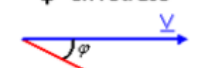


Cada devanado de tipo genera una tensión compuesta, esto quiere decir que la tensión de línea será igual a la tensión de cada eje.

$$U_L = U_f$$

La corriente en línea y la corriente de cada eje son dadas por la siguiente ecuación:

$$I_L = 2I_f \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}I_f$$

- Circuitos equivalentes

RECEPTOR	CIRCUITO EQUIVALENTE	OPOSICIÓN A LA CORRIENTE	IMPEDANCIA	ÁNGULO CARACTERÍSTICO (DESFASE I con V)
Resistencia		Por resistencia	$Z=R$	$0^\circ$ 
Bobina ideal		Por reactancia inductiva	$Z=X_L$	$90^\circ$ en retraso 
Condensador		Por reactancia capacitiva	$Z=X_C$	$90^\circ$ en adelanto 
Inductivo		Por resistencia y reactancia inductiva	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{X_L}{R}$	$\varphi^\circ$ en retraso 
Capacitivo		Por resistencia y reactancia capacitiva	$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ $\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{X_C}{R}$	$\varphi^\circ$ en adelanto 

**Figura 7. Circuitos equivalentes**

Fuente: Gobierno de Aragon-Plataforma E-ducativa aragonesa

### Indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI

SAIFI: Frecuencia media de interrupciones por cliente

SAIDI: Tiempo total promedio de interrupción por cliente

Según Osinergmin (2016), Indicador SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) Mide la frecuencia de ocurrencia de las interrupciones en las instalaciones eléctricas de los sistemas eléctricos, ante las fallas en los componentes, maniobras e indisponibilidades que afectan a los sistemas eléctricos, estas pueden ser propias (sistemas de protección, diseño de redes, estado de las instalaciones) y externos (medio ambiente y terceros).

Fórmula para el cálculo de indicador SAIFI global:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{N}$$

Fórmula para el cálculo de indicador SAIFI individual:

$$SAIFI_{icl} = \sum_{i=1}^n \text{Interrupciones}$$

Según Osinergmin (2016), Indicador SAIDI (System Average Interruption Duration Index) Mide el tiempo de la duración de la interrupción, está relacionado con la ubicación de falla, con la intensidad de la falla y los recursos disponibles para la reposición como: cuadrillas, vehículos, materiales, medios de comunicación, además las vías de acceso, la longitud de redes, etc.

Fórmula para el cálculo de indicador SAIDI global:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \times u_i}{N}$$

Fórmula para el cálculo de indicador SAIDI individual:

$$SAIDI_{icl} = \sum_{i=1}^n \text{Tiempo}(i)$$

Donde:

$t_i$ : Duración de cada interrupción

$\mu_i$ : Número de usuarios afectados em cada interrupción

$n$ : Número de interrupciones del periodo

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

**Tabla 5.** Información, motivos y sub motivos de una interrupción

Información de una Interrupción	Motivos de una Interrupción	Sub motivos de una interrupción
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema eléctrico del cual forma parte</li> <li>• Cantidad de clientes afectados</li> <li>• Unidad de negocio donde se dio la interrupción</li> <li>• Código de interrupción</li> <li>• Entorno de la interrupción</li> <li>• Elemento eléctrico que lo provoco</li> <li>• Fecha y tiempo que duro la interrupción</li> <li>• Motivo de la interrupción</li> <li>• Nivel de tensión</li> <li>• Propiedad de la instalación</li> <li>• Sub motivos de interrupción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas de distribución</li> <li>• Fallas de generación</li> <li>• Fallas de transmisión</li> <li>• Expansión y reforzamiento</li> <li>• Mantenimiento preventivo</li> <li>• Por maniobra sin consentimiento</li> <li>• Por remodelaciones u obras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accidente de trabajo</li> <li>• Aislador roto</li> <li>• Animales</li> <li>• Avería de cable por el propio personal</li> <li>• A solicitud de defensa civil</li> <li>• Accidente del personal propio</li> <li>• Avería de transformadores</li> <li>• Avería de equipos de protección</li> <li>• Avería de instalaciones subterráneas</li> <li>• Avería del tablero de distribución</li> <li>• Bajo niveles de aislamiento</li> </ul>

Fuente: Osinergmin (2016)

### 2.3. Conceptual

Se realizará la aplicación de la generación distribuida con el fin de optimizar indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI en el sistema eléctrico de la provincia de Lunahuaná.



## 2.4. Definición de términos básicos

- **Subestaciones Eléctricas:** Una subestación eléctrica es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- **Optimización:** Acción y efecto de buscar la mejor manera de realizar una actividad; para la presente tesis será mejorar el funcionamiento actual del sistema de media tensión desde el punto de vista técnico-económico.
- **Confiabilidad:** Según el Estándar ISO/DIS 14224 – 2004 las definiciones de Confiabilidad es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.
- **CENELEC:** Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
- **ENEL:** Concesionario local actual que brinda el suministro de energía eléctrica al predio de la Universidad Nacional del Callao.
- **IEC:** La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), más conocida por sus siglas en inglés: IEC (International Electrotechnical Commission), es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

La generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.

##### **3.1.2. Hipótesis específica**

- La ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.
- El dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.
- Los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.

#### **3.2. Definición conceptual de variables**

Para la elaboración de variables e hipótesis que definen el modelo de la presente investigación se han conformado los siguientes términos:

Variable Independiente

X = Generación distribuida fotovoltaica

Como menciona Quizphe, S. y Quisphe, J. (2019), La generación GD fotovoltaica es utilizada como respaldo de información y evita la pérdida de datos por apagones eléctricos, además sirve para mantener el control de los equipos de medición y monitoreo. (p. 3)

Variable Dependiente

Y = Confiabilidad del Sistema Eléctrico

Como menciona Tigselema, M. y Tipán, S. (2019), La confiabilidad de un sistema de generación se define como la habilidad que tiene el sistema para atender la demanda y su análisis a largo plazo es desarrollado bajo condiciones estacionarias de operación, despreciando la influencia de los subsistemas de transmisión y distribución. (p. 33)

### 3.3. Operacionalización de variable

**Tabla 6.** Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>X: Generación distribuida Fotovoltaica</b>	Ubicación	<ul style="list-style-type: none"><li>• N.º de generadores distribuidos</li></ul>
	Dimensionamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>• N.º de inversores</li><li>• Potencia de entrada por inversor</li><li>• Potencia de salida por inversor</li><li>• Potencia de salida total</li></ul>
	Costos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad</li><li>• Demanda</li><li>• Niveles de tensión</li></ul>
<b>Y: Confiabilidad del Sistema eléctrico</b>	SAIDI	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo de la duración de la interrupción</li></ul>
	SAIFI	<ul style="list-style-type: none"><li>• Frecuencia de ocurrencia de las interrupciones</li></ul>

Fuente: Elaboración propia del autor

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. Tipo y diseño de investigación

#### a) Tipo de investigación

Aplicativo: Se buscará resolver el problema e intervenir en la situación de las variables.

#### b) Diseño de investigación.

Cuasi experimental: Debido a que se realizará la manipulación de una de las variables, hablando de la confiabilidad del sistema eléctrico que será evaluado en base a los indicadores SAIDI y SAIFI

### 4.2. Método de investigación

El método de investigación que se usara será cuantitativo ya que se llevara a cabo mediciones del rendimiento de la aplicación de la generación distribuida.

### 4.3. Población y muestra

La subestación eléctrica de transmisión (SET) San Vicente se encuentra ubicada en la Av. Mariscal Benavides y eléctricamente se encuentra en un circuito radial siendo alimentado por la SET Cantera 220 kV, en la zona de la concesionaria Luz del Sur.

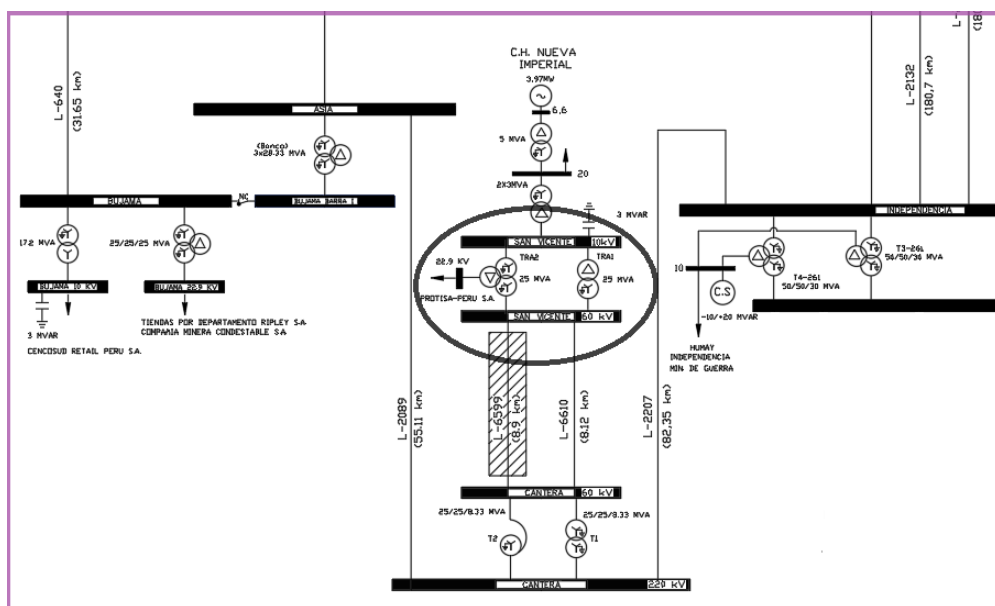


Figura 8. Ubicación de la SET San Vicente

Como se puede ver el SET San Vicente se encuentra rodeado de una central hidroeléctrica la cual fue concedida por el ministerio de energía y minas a la concesionaria HIDROCAÑETE S.A., años más tarde el COES aprueba el ingreso a operación comercial con una potencia efectiva de 3,975 MW.

El SET San Vicente tiene las siguientes características:

**Tabla 7. Características del SET San Vicente**

<b>Características del SET San Vicente</b>	
<b>Transformador de Potencia TRF1</b>	25 MVA – 60/10 kV
<b>Transformador de Potencia TRF2</b>	25/25/25 MVA – 60/22.9/10 kV
<b>Tensión nominal de Barra B1</b>	60 kV
<b>Tensión nominal de Barra B21</b>	10 kV
<b>Tensión nominal de Barra B22</b>	22.9 Kv

Fuente: COES (2019)

El nivel de tensión en AT es de 60 kV el cual es reducido mediante los transformadores de potencia a niveles de tensión típicos de 10 y 22.9 kV.

#### **4.4. Lugar de estudio**

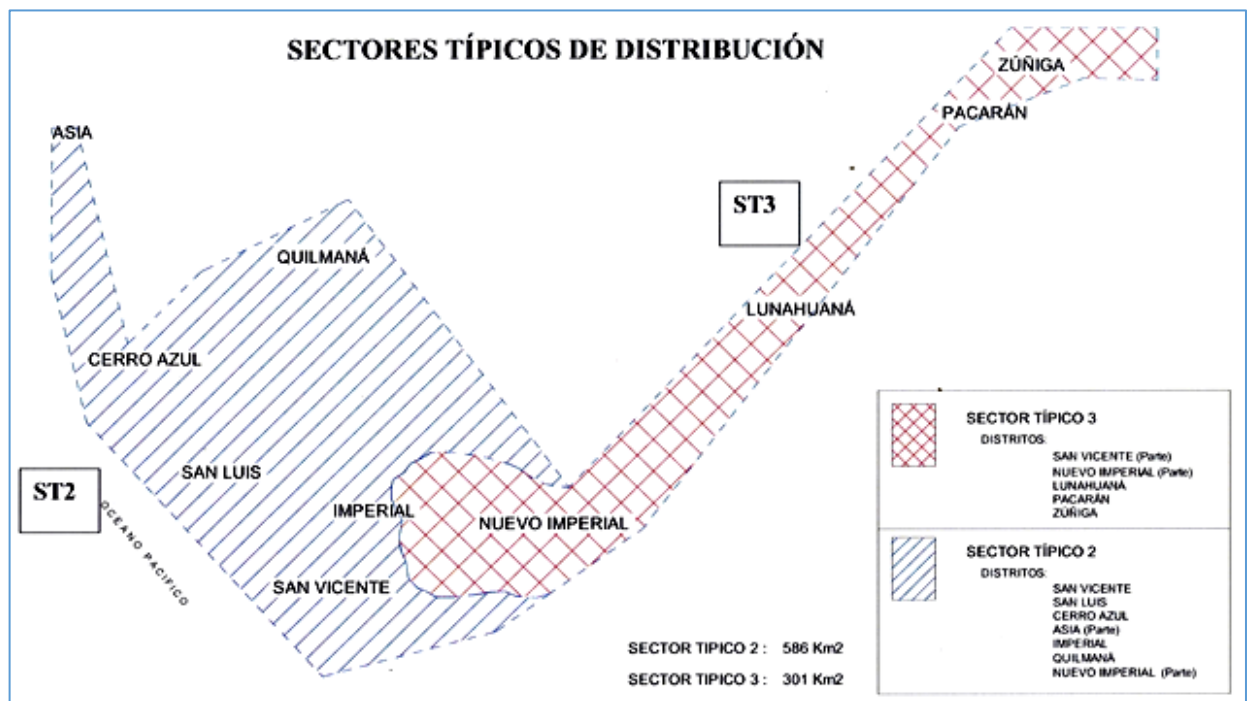
La organización Luz del Sur cuenta con 3 sistemas eléctricos en base a la Resolución N°042-2018-OS/CD los 3 sistemas eléctricos son: sistema eléctrico Lima Sura, Sistema eléctrico Lunahuaná y Sistema eléctrico de Cañete, en nuestro caso la muestra será el sistema eléctrico de Lunahuaná. Luz del Sur cuenta con 3 sectores típicos por resolución N° 154-2012 EM/DGE.

- Sector de distribución Típico 1: Urbano de alta densidad
- Sector de Distribución Típico 2: Urbano de media densidad.
- Sector de Distribución Típico 3: Urbano de baja densidad.

**Tabla 8.** Recorrido de alimentadores

Código Sistema Eléctrico	Nombre Sistema Eléctrico	Sector Típico	Alimentador	Distritos
SE 1004	Lunahuaná	3	CÑ04	LUNAHUANA
SE 1004	Lunahuaná	3	CÑ04	NUEVO IMPERIAL
SE 1004	Lunahuaná	3	CÑ04	PACARÁN
SE 1004	Lunahuaná	3	CÑ04	ZUÑIGA

Fuente: Luz del Sur (2019). Sistemas Eléctricos, SET San Vicente.



**Figura 9.** Sectores típicos de distribución en la SET San Vicente.



**Figura 10.** Ubicación geográfica del SET San Vicente.  
Fuente: Base de datos Google Earth Pro

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

El presente trabajo de investigación parte de la alta incidencia de interrupciones o incidencias que afectan a la calidad del suministro en el Sistema Eléctrico de Lunahuaná, los cuales generan que se superen las tolerancias SAIDI y SAIFI correspondientes al sector típico 2 propio del sistema.

La manera de obtener información para su posterior análisis es a través de las fuentes de información de la empresa concesionaria, la base de datos de interrupciones imprevistas y programadas de los años 2018 y 2019.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Se realizará un análisis de los indicadores de confiabilidad previo a la implementación de la generación distribuida fotovoltaica y otro análisis posterior a la implementación de la generación distribuida fotovoltaica, con ello se plantea evaluar la mejora que se obtiene con la implementación.

## **V. RESULTADOS**

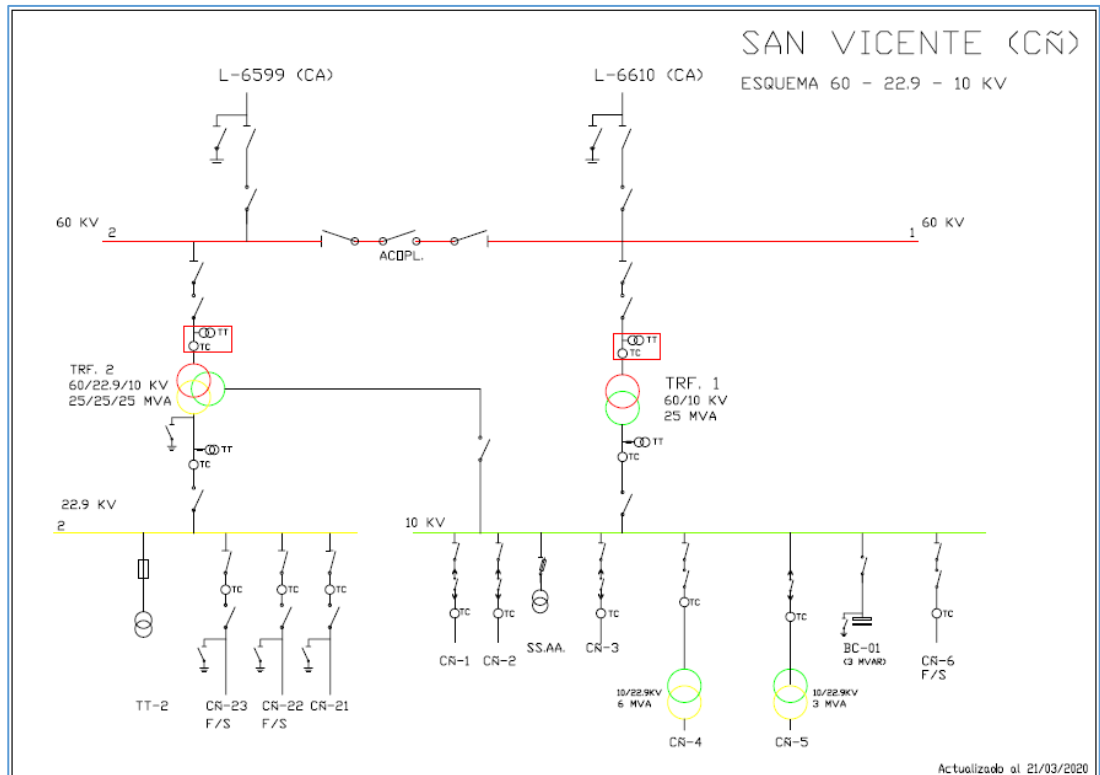
### **5.1. Consideraciones generales**

En la presente investigación se cuenta con el sistema eléctrico de Lunahuaná el cual ha presentado índices de confiabilidad con excedentes en los indicadores SAIDI y SAIFI, dichos indicadores permiten conocer la estabilidad en una instalación de transmisión y distribución de energía eléctrica ya que estos indicadores evalúan la frecuencia y duración de las interrupciones y con ello se quiere conocer donde se originan las interrupciones a partir de los alimentadores, departamentos o áreas, los alimentadores son un punto crítico debido a que con ello se corta la capacidad eléctrica al sistema eléctrico, la generación distribuida implementada de manera estratégica puede mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico de Lunahuaná ya que con ello se tendría un sistema de distribución de energía eléctrica por cada alimentador y esto permite que se controle mejor las interrupciones.

Para llevar a cabo la implementación de la generación distribuida en cada uno de los alimentadores se debe conocer la capacidad de generación, la intermitencia de las interrupciones, para ello se tiene pensado que se tenga un almacén de energía que funcionara mediante una batería de almacenamiento.

El objetivo de la investigación es determinar de qué forma se pueden mejorar los indicadores de confiabilidad con la implementación de generación distribuida, para ello analizaremos el sistema eléctrico de Lunahuaná.





**Figura 11. Esquema AT – SET San Vicente – Lunahuaná**  
Fuente: Sistema Luz del Sur

La generación distribuida cada vez es un reto al cual las empresas de este rubro deben considerar ya que facilita el control de los índices de confiabilidad, lo cual evitara que el sistema eléctrico de quede en un estado de falla o avería a estar en un estado de asilamiento, se separa la instalación que tiene el problema mientras el resto sigue funcionando de manera normal y se puede atender el problema de manera específica a través de la generación distribuida.

Debe considerarse que hay diversos tipos de instalaciones para la generación distribuida y ello va en función de los niveles de tensión:

- Instalación de distribución: La cual soporta una red eléctrica con tensión menor a 30 kV
- Instalación de transmisión: La cual soporta una red eléctrica con tensión igual o mayor a 30 kV, no tiene en cuenta las centrales de generación.
- Instalación de generación: Comprende a las centrales de generación.

## **5.2. Análisis Situacional**

Para poder evaluar la confiabilidad nos basamos en los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI, se conocerán la cantidad de interrupciones y los motivos mas frecuentes por los cuales se dan dichas interrupciones.

Se tendrá en cuenta las interrupciones programadas e imprevistas para analizar las causas, así como la cantidad de energía interrumpida.

Se analiza los indicadores SAIDI y SAIFI teniendo en cuenta los sectores, en el sector N.º 3 se encuentra el sistema eléctrico de Lunahuaná, teniendo datos históricos entre el 2018 y 2019, también se tuvo en cuenta los alimentadores y departamentos, permitiendo conocer los lugares en los que se da con mayor frecuencia y cuáles son las causas de las interrupciones, permitiendo que se establezca un plan de acción para elevar los indicadores de confiabilidad.

**Tabla 9. Cantidad de interrupciones imprevistas y programadas en el 2017**

2017		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Imprevistas	Cantidad	265	194	289	165	173	147	150	149	151	167	149	216	2215
	Energía Interrumpida (MWh)	1.335,61	890,35	4.242,20	19.958,31	553,09	493,85	732,14	445,70	533,89	466,11	474,20	774,63	30900,08
Programadas	Cantidad	129	130	74	240	157	147	142	135	119	145	138	118	1674
	Energía Interrumpida (MWh)	973,62	796,94	395,98	1020,95	999,68	332,34	291,25	281,88	241,14	602,54	526,86	492,57	6955,75

Fuente: Sistema de Luz del Sur

Como se puede apreciar que se tiene unas 2215 interrupciones en las cuales se tiene 30900,08 Mwh de energía interrumpida de manera imprevista y 1674 interrupciones en las cuales se tiene 6955,75 Mwh de energía interrumpida de manera programada en el año 2017.

**Tabla 10. Cantidad de interrupciones imprevistas y programadas en el 2018**

2018		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Imprevistas	Cantidad	162	161	139	151	185	207	149	141	130	158	149	213	1945
	Energía Interrumpida (MWh)	644,92	717,57	440,85	617,27	447,06	699,52	613,67	432,80	367,53	552,65	442,16	525,03	6501,03
Programadas	Cantidad	123	150	138	153	120	132	134	168	125	115	119	147	1624
	Energía Interrumpida (MWh)	391,49	661,65	440,46	4.038,48	480,90	259,46	396,51	625,87	239,10	421,92	354,45	870,41	9.180,70

Fuente: Sistema de Luz del Sur

Como se puede apreciar que se tiene unas 1945 interrupciones en las cuales se tiene 6501,03 Mwh de energía interrumpida de manera imprevista y 1624 interrupciones en las cuales se tiene 9180,70 Mwh de energía interrumpida de manera programada en el año 2018.

**Tabla 11. Cantidad de interrupciones imprevistas y programadas en el 2019**

2019		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Imprevistas	Cantidad	122	107	86	72	103	116	114	73	94	84	105	110	1186
	Energía Interrumpida (MWh)	339,79	236,29	116,97	69,21	142,01	200,40	118,75	122,62	119,18	120,62	133,86	143,71	1863,41
Programadas	Cantidad	110	95	94	114	113	132	110	129	130	157	133	132	1449
	Energía Interrumpida (MWh)	213,83	193,60	160,81	284,47	335,30	558,38	694,53	366,61	305,76	344,55	434,09	307,70	4199,63

Fuente: Sistema de Luz del Sur

Como se puede apreciar que se tiene unas 1186 interrupciones en las cuales se tiene 1863,41 Mwh de energía interrumpida de manera imprevista y 1449 interrupciones en las cuales se tiene 4199,63 Mwh de energía interrumpida de manera programada en el año 2019.

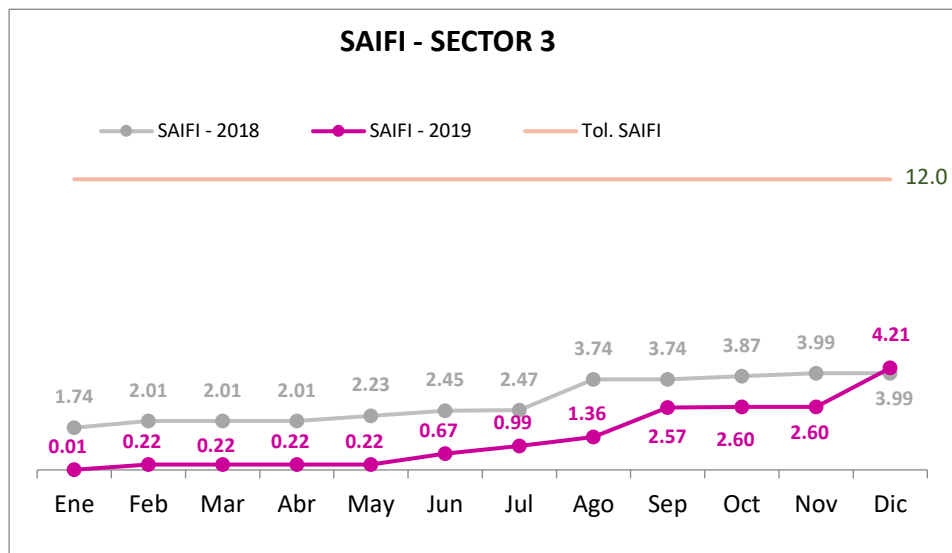
Analizando las tablas presentadas acerca de las interrupciones imprevistas y programadas podemos ver que en cuanto a las interrupciones imprevistas ha ido disminuyendo la cantidad de interrupciones de 2215 en el año 2017, 1945 en el año 2018 y 1186 en el año 2019 y en cuanto a la energía interrumpida se ve una disminución bastante significativa teniendo 30,900,08 Mwh luego un 6501,03 Mwh y en finalmente un 1863,41 Mwh. En cuanto a las interrupciones programadas se tuvo una cantidad 1674 en el año 2017, 1624 en el año 2018 y 1449 en el año 2019 y en cuanto a la energía interrumpida se ha tenido un ligero incremento en el 2017 se alcanzó 6955,75 Mwh y en el 2018 alcanzo un 9180,70 Mwh sin embargo para el 2019 se vio una disminución muy significativa teniendo 4199,63 Mwh.

Como podemos ver la cantidad de interrupciones programadas es menor a las imprevistas, en cuanto a la cantidad de energía se ve una diferencia notoria por lo imprevisto teniendo una mayor cantidad frente a lo programado en el 2017, mientras que en el 2018 se tuvo valores de energía mas alto en lo programado que en lo imprevisto y finalmente en el 2019 se tuvo un valor mucho menor en cuanto a energía interrumpida imprevista frente a la programada.

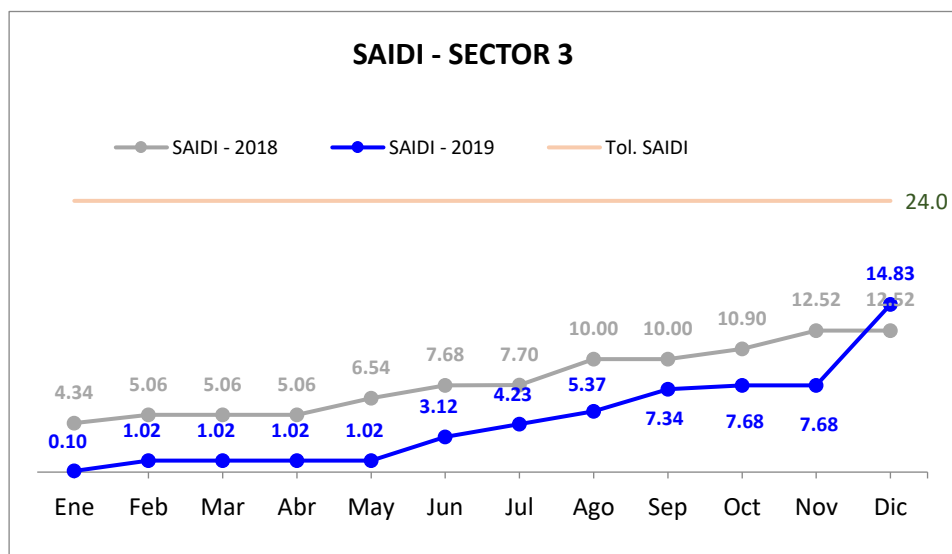
**Tabla 12. Indicadores SAIDI y SAIFI del sector típico 3**

Sector típico 3 (SISTEMA ELÉCTRICO DE LUNAHUANÁ)						
	SAIFI - 2018	SAIFI - 2019	SAIDI - 2018	SAIDI - 2019	Tol. SAIFI	Tol. SAIDI
<b>Ene</b>	1,74	0,01	4,34	0,10	12,0	24,0
<b>Feb</b>	2,01	0,22	5,06	1,02	12,0	24,0
<b>Mar</b>	2,01	0,22	5,06	1,02	12,0	24,0
<b>Abr</b>	2,01	0,22	5,06	1,02	12,0	24,0
<b>May</b>	2,23	0,22	6,54	1,02	12,0	24,0
<b>Jun</b>	2,45	0,67	7,68	3,12	12,0	24,0
<b>Jul</b>	2,47	0,99	7,70	4,23	12,0	24,0
<b>Ago</b>	3,74	1,36	10,00	5,37	12,0	24,0
<b>Sep</b>	3,74	2,57	10,00	7,34	12,0	24,0
<b>Oct</b>	3,87	2,60	10,90	7,68	12,0	24,0
<b>Nov</b>	3,99	2,60	12,52	7,68	12,0	24,0
<b>Dic</b>	3,99	4,21	12,52	14,83	12,0	24,0

Fuente: Sistema de Luz del Sur



**Figura 12. SAIFI – Sector típico 3**



**Figura 13. SAIDI – Sector típico 3**

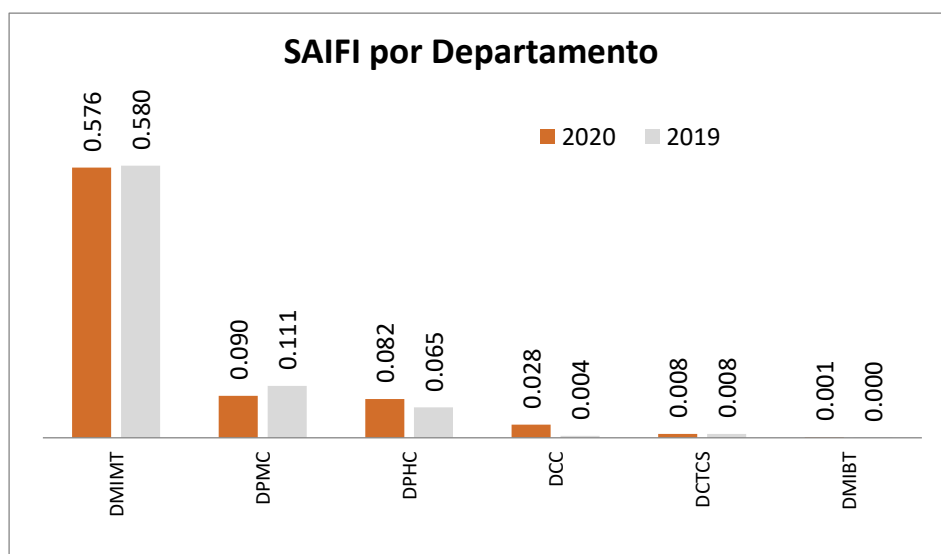
Como se puede apreciar en el sector típico 3, el indicador SAIFI del 2018 es mayor al del año 2019, con un 1,73 mas en el mes de enero y en diciembre del 2019 se tiene un valor mayor al del 2018 en un 0,22. El indicador SAIDI del 2018 es mayor al 2019, con un 4,24 mas en enero y en diciembre del 2019 se tuvo un indicador mayor al del 2018 en un 2,31.

### Indicadores de confiabilidad por departamento

**Tabla 13.** Indicador SAIFI por departamento

Dpto.	2020	2019	Dpto
DPTO. MANTENIMIENTO INSTALACIONES MT	0,576	0,580	DMIMT
DPTO. ING. Y CONSTRUCCIÓN CLIENTES MAYORES A 50 KW	0,090	0,111	DPMC
DPTO. ING. Y CONSTRUCCIÓN CLIENTES HASTA 50 KW	0,082	0,065	DPHC
DPTO. CENTRO DE CONTROL	0,028	0,004	DCC
DPTO. CONTROL TÉCNICO Y CALIDAD DE SERVICIO	0,008	0,008	DCTCS
DPTO. MANTENIMIENTO INSTALACIONES BT	0,001	0,000	DMIBT

Fuente: Sistema Luz del Sur



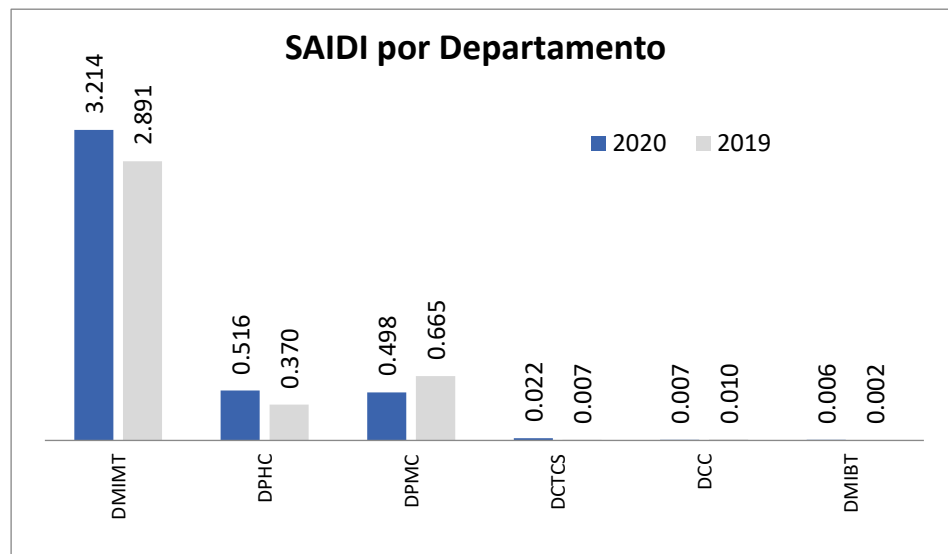
**Figura 14.** SAIFI por departamento

Como se puede apreciar los valores más altos del indicador SAIFI tanto en el año 2019 como en el 2020 corresponden al departamento de mantenimientos instalaciones MT con valores de 0,580 en el 2019 y de 0,576 en el 2020.

**Tabla 14.** Indicador SAIDI por departamento

Dpto.	2020	2019	Dpto
DPTO. MANTENIMIENTO INSTALACIONES MT	3,214	2,891	DMIMT
DPTO. ING. Y CONSTRUCCIÓN CLIENTES HASTA 50 KW	0,516	0,370	DPHC
DPTO. ING. Y CONSTRUCCIÓN CLIENTES MAYORES A 50 KW	0,498	0,665	DPMC
DPTO. CONTROL TÉCNICO Y CALIDAD DE SERVICIO	0,022	0,007	DCTCS
DPTO. CENTRO DE CONTROL	0,007	0,010	DCC
DPTO. MANTENIMIENTO INSTALACIONES BT	0,006	0,002	DMIBT

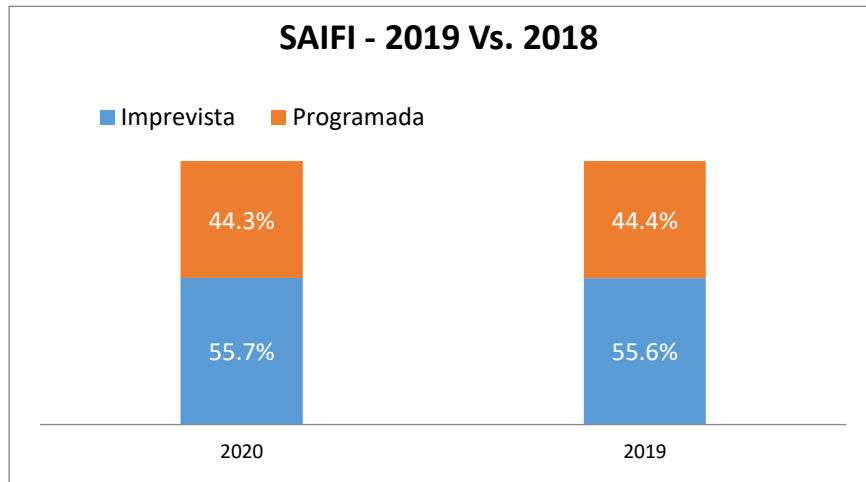
Fuente: Sistema Luz del Sur



**Figura 15.** SAIDI por departamento

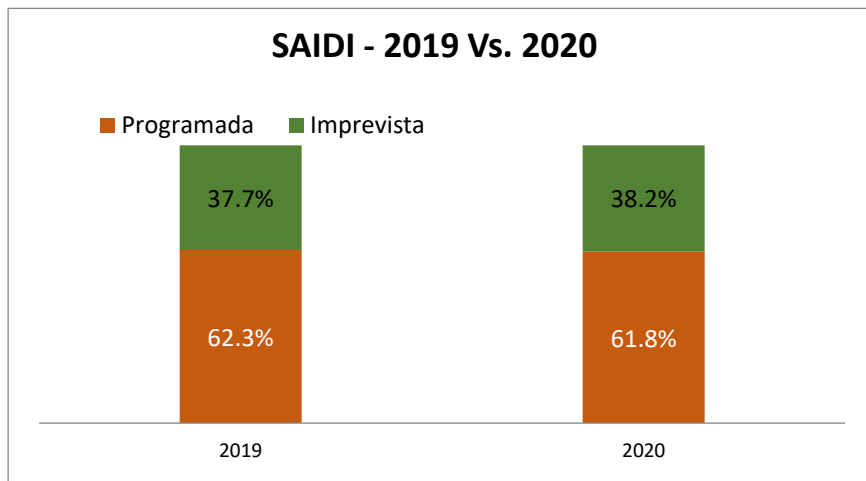
Como se puede apreciar los valores más altos del indicador SAIDI tanto en el año 2019 como en el 2020 corresponden al departamento de mantenimientos instalaciones MT con valores de 2,891 en el 2019 y de 3,214 en el 2020.

## Comparativa de indicadores de confiabilidad en el 2019 y 2020



**Figura 16.** SAIFI – 2019 vs 2020

Como se puede apreciar el indicador de confiabilidad SAIFI imprevisto y el programado tanto como en el 2019 y en el 2020 no ha habido ningún cambio notorio teniendo una diferencia del 0,1%.



**Figura 17.** SAIDI -2019 vs 2020

Como se puede apreciar el indicador de confiabilidad SAIDI imprevisto en el 2019 se tuvo un 37,7% y en el 2020 se obtuvo un 38,2%, en cuanto al SAIDI programado se tuvo un 62,3% en el 2019 y en el 2020 un 61,8%.



## Causas del SAIDI y SAIFI

**Tabla 15.** Causas del SAIFI

Causa	SAIFI
<b>NO DETERMINADO</b>	57%
<b>FALTA DE MANTENIMIENTO</b>	10%
<b>ENVEJECIMIENTO</b>	7%
<b>TRABAJOS DE URGENCIA (EMERGENCIA)</b>	20%
<b>DEFICIENCIA DEL MATERIAL</b>	6%

Fuente: Sistema Luz del Sur



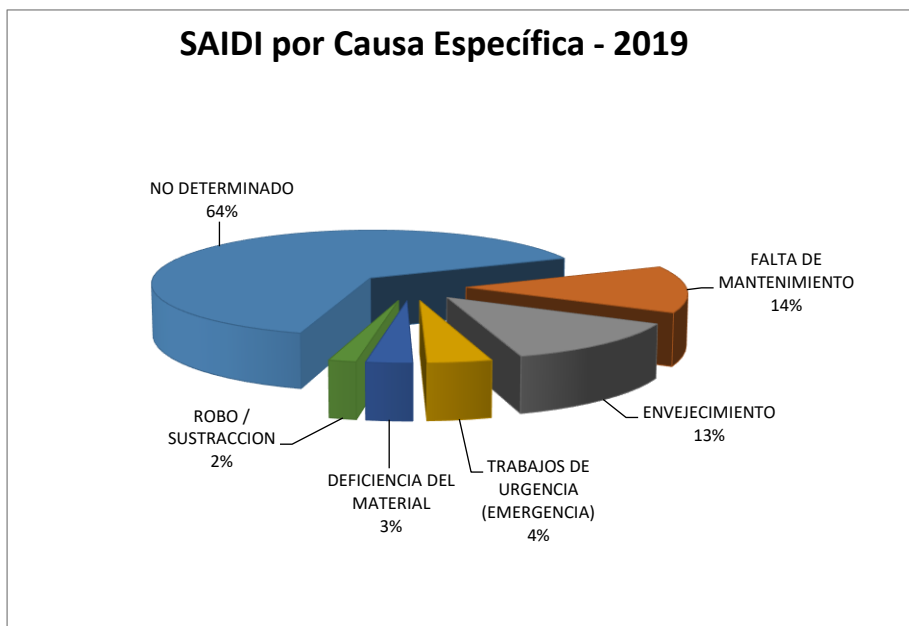
**Figura 18.** SAIFI por causas específicas en el 2019

Como se puede apreciar el 57% de las ocasiones en las que se tiene un indicador SAIFI no se determina la causa, el 20% son trabajos de urgencia o emergencias, el 10% se deben a falta de mantenimiento, el 7% se debe a envejecimiento y el 6% se debe a deficiencia del material.

**Tabla 16. Causas del SAIDI**

Causa	SAIFI
<b>NO DETERMINADO</b>	64%
<b>FALTA DE MANTENIMIENTO</b>	14%
<b>ENVEJECIMIENTO</b>	13%
<b>TRABAJOS DE URGENCIA (EMERGENCIA)</b>	4%
<b>DEFICIENCIA DEL MATERIAL</b>	3%
<b>ROBO / SUSTRACCIÓN</b>	2%

Fuente: Sistema Luz del Sur



**Figura 19. SAIDI por causas específicas en el 2019**

Como se puede apreciar el 64% de las ocasiones en las que se tiene un indicador SAIFI no se determina la causa, el 14% se deben a falta de mantenimiento, el 13% se debe a envejecimiento, el 4% son trabajos de urgencia o emergencias, el 3% se debe a deficiencia del material y el 2% se debe a robos o sustracciones.

### **5.3. Evaluación del potencial energético disponible**

La zona sur del Perú se caracteriza por presentar un alto potencial energético solar por lo cual la tecnología para la Generación Distribuida a implantar será un Sistema Fotovoltaico, la cual además se caracteriza por presentar muchas ventajas como:

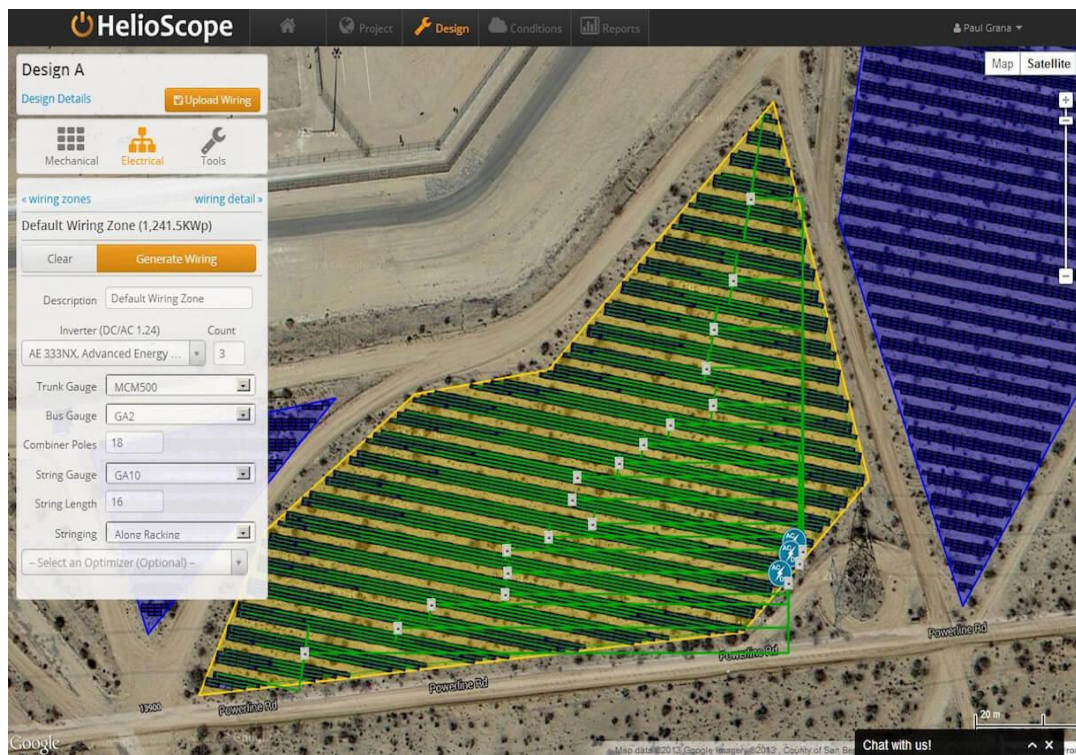
- Los costos de operación y mantenimiento son mínimos, el sistema es electrónico, no contiene piezas mecánicas, piezas rotativas como las tienen sistemas eólicos o hidráulicos, componentes que se encuentran en constante desgaste por lo cual se requieren mantenimientos planificados y personal que revisen el adecuado funcionamiento.
- Las baterías son selladas, no requieren mantenimiento, lo único los paneles solares de acuerdo al nivel de polvo, esto es menor que un sistema convencional normal.
- Cuando están en operación no contaminan, son silenciosas.
- Tiene una vida útil superior a 20 años, un tiempo de vida prolongado, el retorno de inversión puede ser de 2 a 3 años, los 17 años restantes sería ganancia.
- Son sistemas flexibles, permiten aumentar la potencia instalada, no es estacionario.
- Los sistemas fotovoltaicos pueden desconectarse y conectarse, pero lo más recomendable es utilizar la energía generada, en el diagrama costo beneficio se va haber afectado.

Para la evaluación del potencial energético solar disponible en la zona de estudio empleamos el software "Helios cope", el cual cuenta con una base de datos solares histórica georreferenciada.

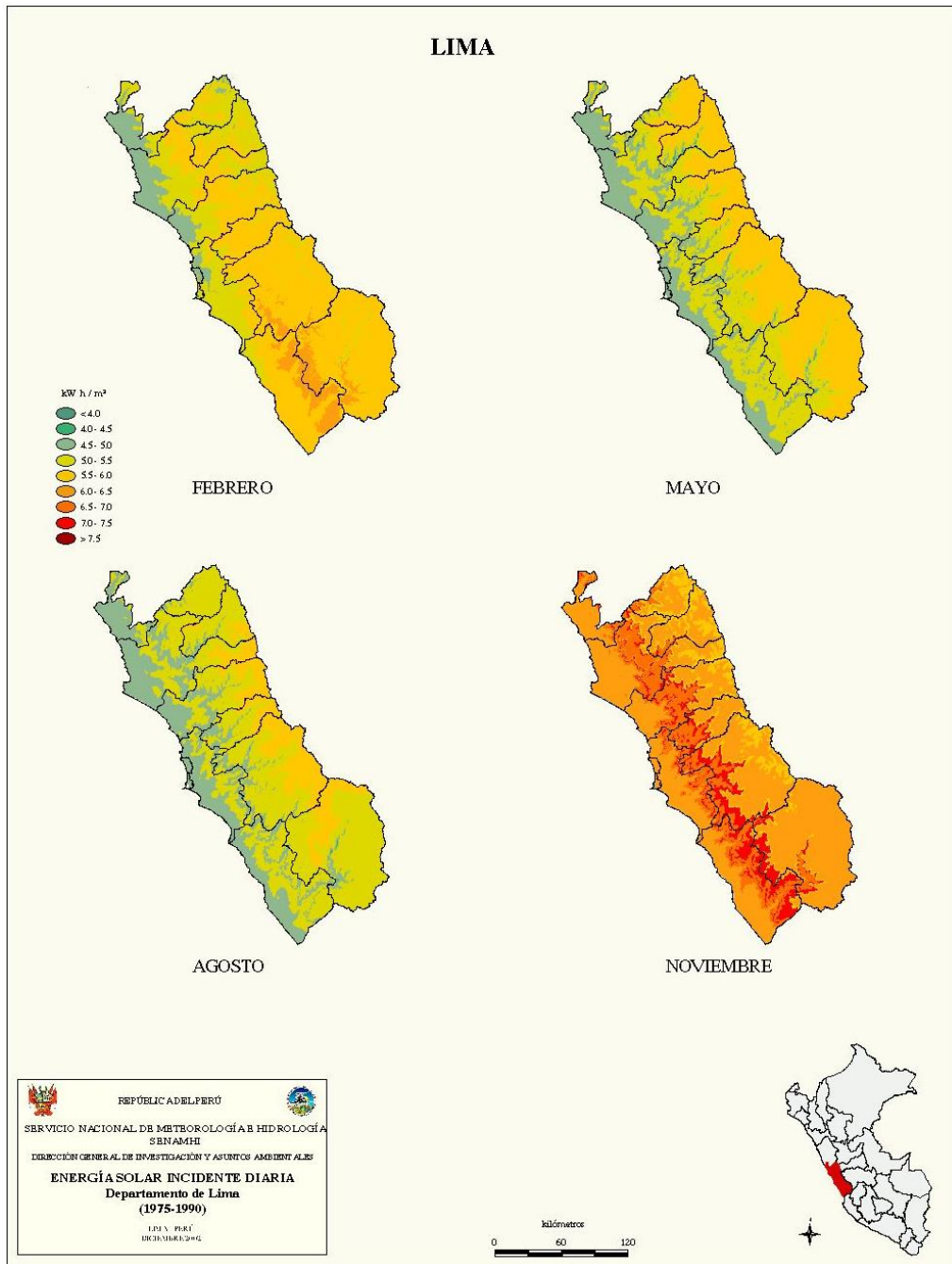
Es una aplicación que simplifica el proceso de diseño y dimensionamiento de una instalación de paneles solares. Incluye todas las características de Pvsyst y añade la funcionalidad de diseño de AutoCAD, lo cual permite a los integradores hacer un diseño completo con un solo software

Importa archivos meteorológicos para conocer el clima en la zona. Incorpora análisis de sombras, física de los módulos fotovoltaicos, analiza la resistencia de los cables, así como de otros factores para realizar una simulación de lo más exacta. Estima valores de producción eléctrica y de producción de energía solar por hora. Puede calcular la potencia requerida con mayor precisión. Al seleccionar los componentes y ejecutar múltiples simulaciones para la misma ubicación te brinda la opción de comparar los resultados y elegir la mejor opción de configuración del diseño.

Adicionalmente también empleamos la página de la NASA para determinar valores promedios de radiación solar en la zona de estudio.



**Figura 20. Dimensionamiento de paneles solares**  
Fuente: HelioScope



**Figura 21. Energía solar incidente diaria**

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología Hidrológica SENAMHI

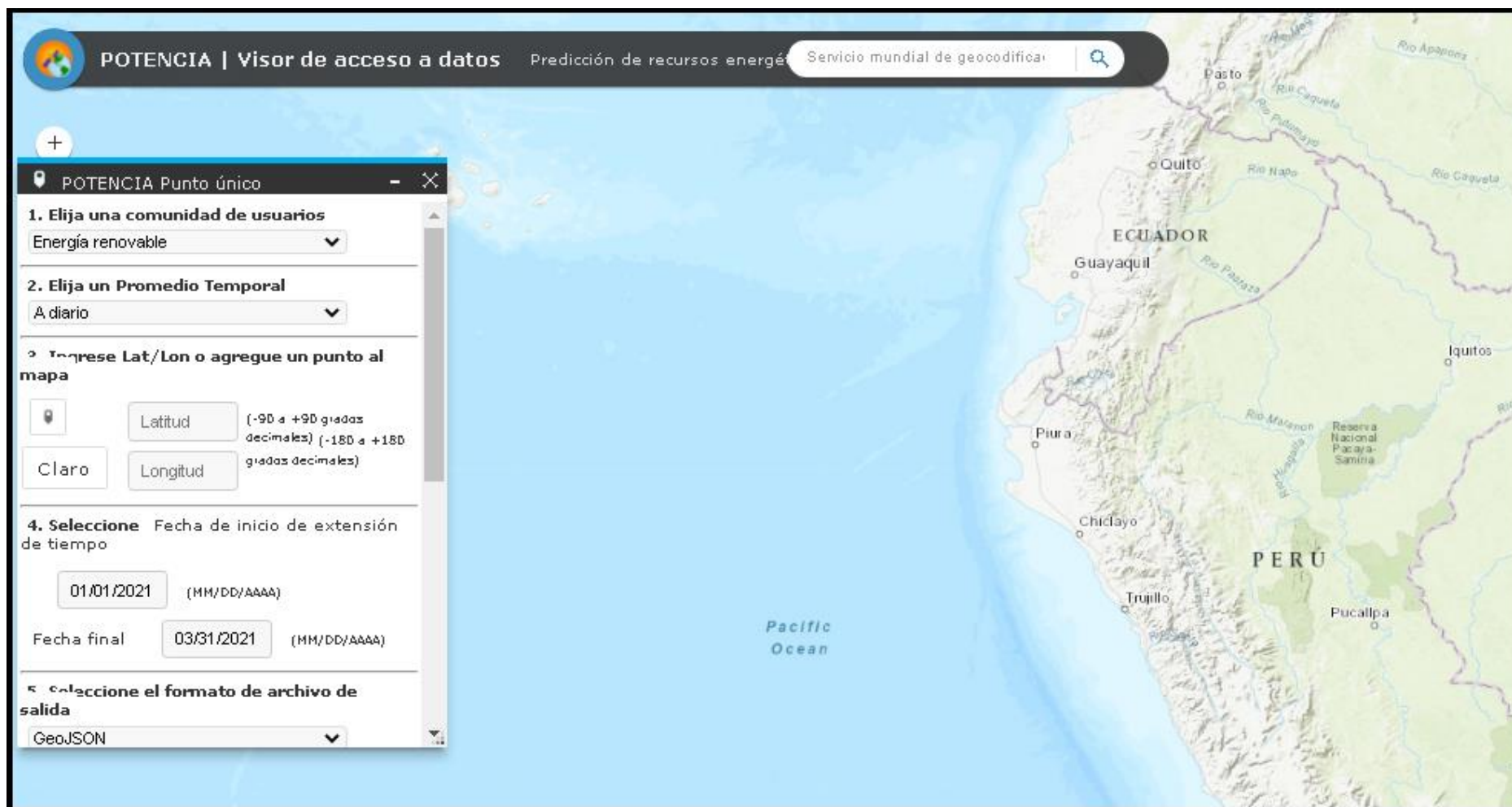


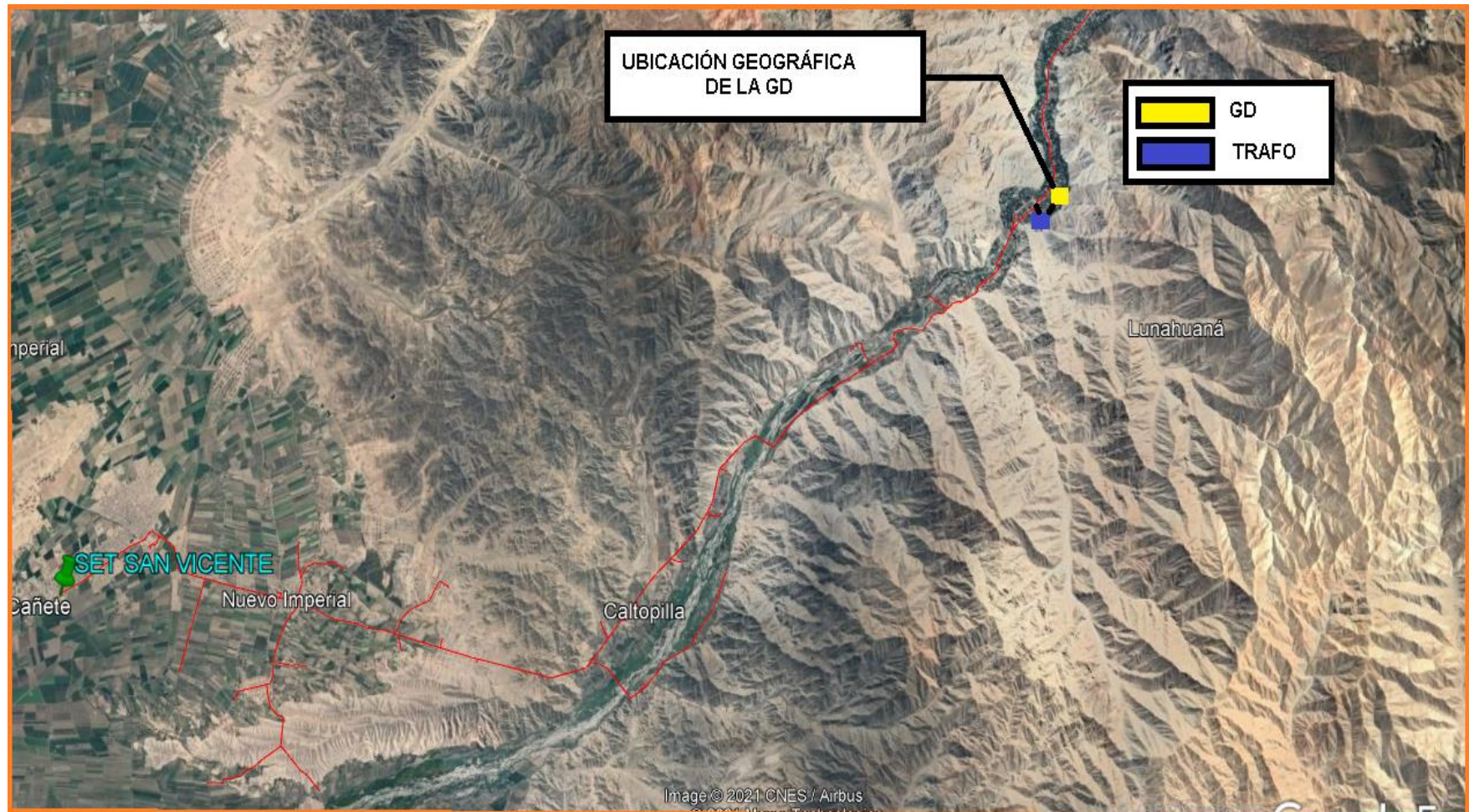
Figura 22. Registro de radiación solar

Fuente: La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)

**Tabla 17.** Registro de radiación solar en Lunahuaná – Cañete 2019

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2015	6.3	5.23	5.23	5.5	5.17	4.4	4.67	4.88	5.48	6.24	6.16	6.33
2016	6.4	5.65	5.84	5.75	5.65	4.54	4.48	5.08	5.72	6.52	7.71	6.61
2017	4.96	5.26	5.3	5.6	4.94	4.33	4.72	5.05	5.46	6.68	6.54	6.08
2018	5.91	5.69	5.64	5.5	5.38	4.03	4.19	4.75	5.85	5.94	7.19	6.95
2019	5.52	5.1	6.06	5.77	5.17	4.24	4.46	5.01	5.5	6.44	6.43	6.13
Promedio Mensual Radiación	<b>5.818</b>	<b>5.386</b>	<b>5.614</b>	<b>5.624</b>	<b>5.262</b>	<b>4.308</b>	<b>4.504</b>	<b>4.954</b>	<b>5.602</b>	<b>6.364</b>	<b>6.806</b>	<b>6.42</b>

Fuente: La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)



**Figura 23.** Ubicación geográfica de la Generación Distribuida para el Alimentador CÑ02

Fuente: Google Earth



El alimentador CÑ04 recorre el distrito de Lunahuaná, Pacarán y Zuñiga, está conformada por un total de 128 nodos, de los cuales 102 corresponden a Subestaciones de Distribución y 26 son clientes MT. La mayor parte de sus redes eléctricas son aéreas a excepción de la primera troncal que está conformada por redes subterráneas, por esta razón está expuesta a una serie de fallas que conlleva a la interrupción del suministro eléctrico en los usuarios conectados al alimentador. Este alimentador se caracteriza por presentar una topología radial, sin opción de traslados de carga a otro alimentador en casos de incidencias, lo cual genera tiempos prolongados de reposición del servicio ante interrupciones del suministro.

**Tabla 18.** Información acerca del alimentador CÑ04

Alimentador CÑ04		
Usuarios	Longitud (km)	Equipos de protección y maniobra
15760	195.48	6

Fuente: Elaboración propia del autor

Para la presente investigación se consideró la generación distribuida en aquellos alimentadores que impactan más en los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI, para esto nos basaremos en el registro histórico de interrupciones de la empresa concesionaria del año 2018 y 2019 adjunta como anexo, consideraremos aquellos alimentadores correspondientes al Sistema Eléctrico de Lunahuaná con mayor número de clientes – hora, este es un indicador que asocia a la cantidad de clientes afectados y la duración de las interrupciones ocurridas durante los años mencionados, es necesario señalar que se excluyeron las interrupciones originadas en el sector generación y transmisión, considerando solo aquellas interrupciones originadas aguas abajo de los bornes MT del transformador de potencia.

**Tabla 19.** Interrupciones en el MT - 2018

Interrupciones MT - 2018	
Alimentador	clientes - hora
CÑ04	509444

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20.** Interrupciones en el MT - 2019

Interrupciones MT - 2019	
Alimentador	clientes - hora
CÑ04	442371

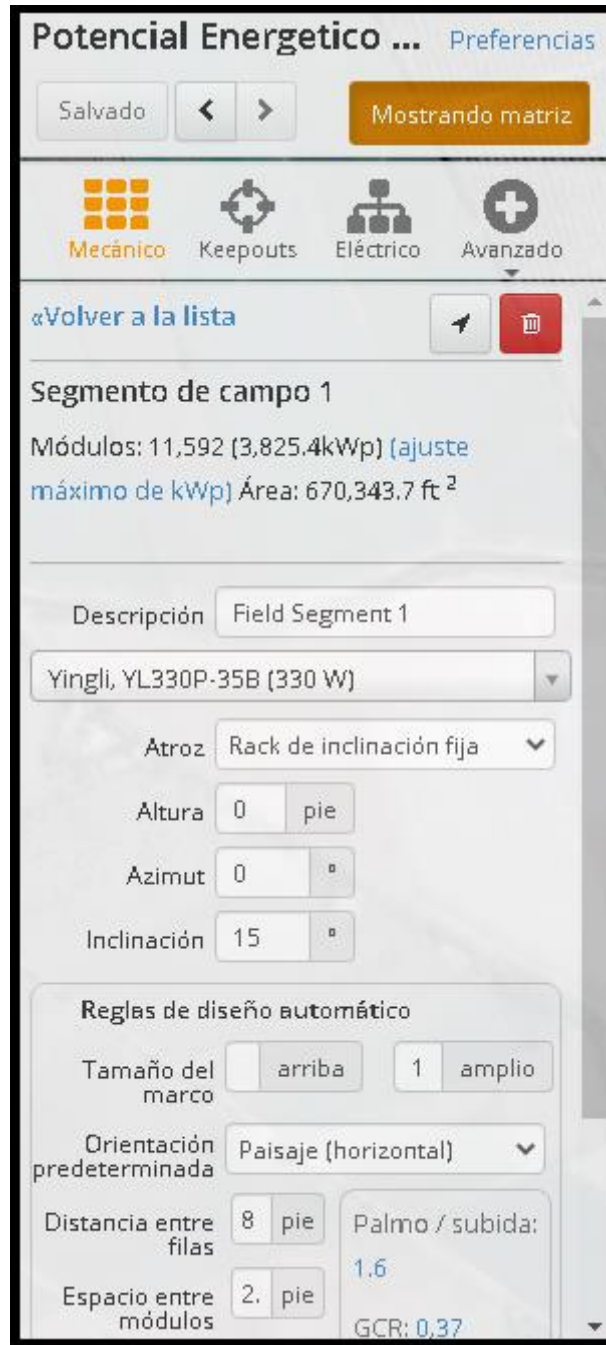
Fuente: Elaboración propia



**Figura 24.** Proyecto de Sistema Solar Fotovoltaico – Alim CÑ04  
Fuente: HelioScope



**Figura 25.** Potencial Solar CN04  
Fuente: HelioScope



**Figura 26.** Resultados CÑ04  
Fuente: HelioScope

De acuerdo a la ubicación geográfica de la generación distribuida y la base de datos solar del software para el terreno señalado resulta un potencial energético solar máximo de 3.83 MW que puede aprovecharse como fuente de energía alterna ante interrupciones del suministro.

#### **5.4. Análisis de confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná sin generación distribuida**

Para el análisis de confiabilidad se considera el desempeño de los alimentadores correspondientes al Sistema Eléctrico de Lunahuaná del año 2019, para su modelamiento se considera el estado de los componentes tal y como estaban en ese año, la información fiable que se emplea es brindada por la empresa concesionaria Luz del Sur, esquemas unifilares así como también los reportes de interrupción correspondientes al año 2019 a partir del cual se determinan la cantidad de interrupciones imprevistas y programadas por alimentador.

Para el análisis de confiabilidad del Sistema Eléctrico de Cañete se hace uso del software Power Factory a través de la herramienta de análisis de confiabilidad.

Los parámetros de confiabilidad se determinan a partir del reporte de interrupciones y la cantidad de clientes conectados por alimentador se obtienen de los reportes remitidos por la empresa concesionaria a OSINERGMIN en cumplimiento del procedimiento 074.

Los circuitos laterales de los alimentadores correspondientes al Sistema Eléctrico de Lunahuaná se modelarán como cargas concentradas, considerando para cada una la cantidad de usuarios conectados y su demanda ya que la Generación Distribuida se implantará en la Troncal de los alimentadores correspondientes. Para simplificar el cálculo del análisis de confiabilidad se consideran las tasas de fallas en los cables de los alimentadores correspondientes al Sistema Eléctrico de Lunahuaná y los demás componentes se consideran plenamente confiables, así como los elementos de protección que están coordinados correctamente.

Se tomó en cuenta en el modelamiento de los alimentadores del Sistema Eléctrico de Lunahuaná la ubicación de los equipos de protección, tanto en la cabecera de los alimentadores como a lo largo de la troncal, esto permitirá al software determinar correctamente los indicadores de confiabilidad.

Es necesario mencionar que los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI calculados por el software son aquellos que se calculan con interrupciones

originadas en instalaciones de Distribución y considerando las condiciones establecidas en el procedimiento 074.

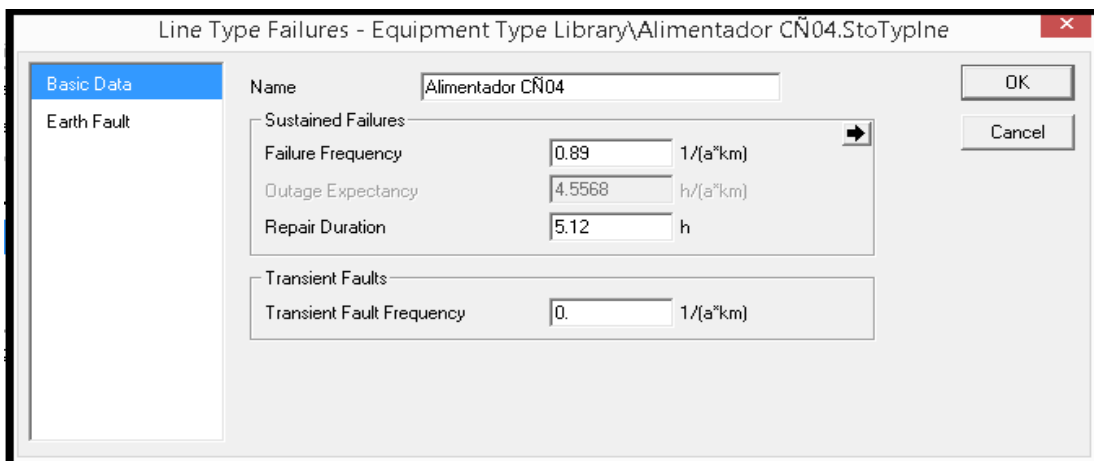
### ALIMENTADOR CN-04

Los parámetros de confiabilidad del alimentador CÑ04 se determinaron a partir del reporte de interrupciones del año 2019 de la empresa concesionaria Luz del Sur, se consideraron las interrupciones imprevistas y programadas las cuales están adjuntas en los anexos, así como también la información de las características de las cargas concentradas.

**Tabla 21.** Parámetros de confiabilidad del alimentador CÑ04

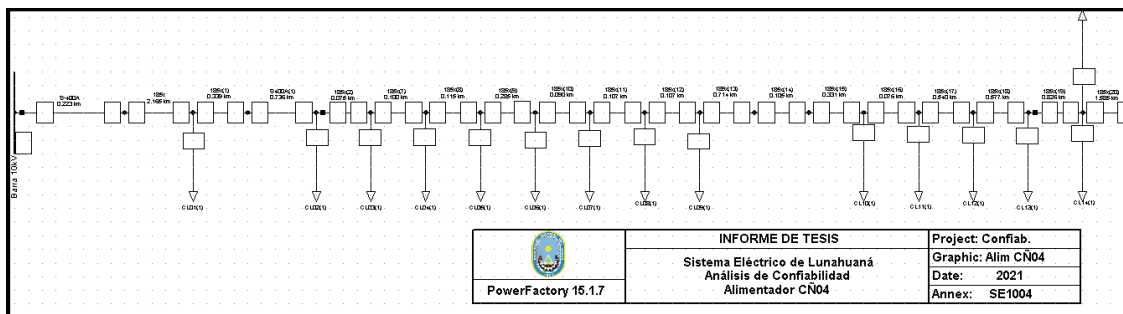
Sistema Eléctrico de Cañete		
Alimentador	Tasa de fallas (veces/año)	Tiempo de reparación (horas)
CÑ-04	0.89	5.12

Fuente: Power Factory



**Figura 27.** Parámetros de confiabilidad – Alimentador CÑ04

Fuente: Power Factory



**Figura 28.** Modelamiento del alimentador CÑ04

Fuente: Power Factory

System Average Interruption Frequency Index	:	SAIFI	=	7.451532	l/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	:	CAIFI	=	7.451532	l/Ca
System Average Interruption Duration Index	:	SAIDI	=	28.445	h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	:	CAIDI	=	3.817	h
Average Service Availability Index	:	ASAI	=	0.9967528913	
Average Service Unavailability Index	:	ASUI	=	0.0032471087	
Energy Not Supplied	:	ENS	=	560.888	MWh/a
Average Energy Not Supplied	:	AENS	=	0.022	MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	:	ACCI	=	0.492	MWh/Ca
Expected Interruption Cost	:	EIC	=	0.000	M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	:	IEAR	=	0.000	\$/kWh
System energy shed	:	SES	=	0.000	MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	:	ASIFI	=	8.463581	l/a
Average System Interruption Duration Index	:	ASIDI	=	34.197900	h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	:	MAIFI	=	0.000000	l/Ca

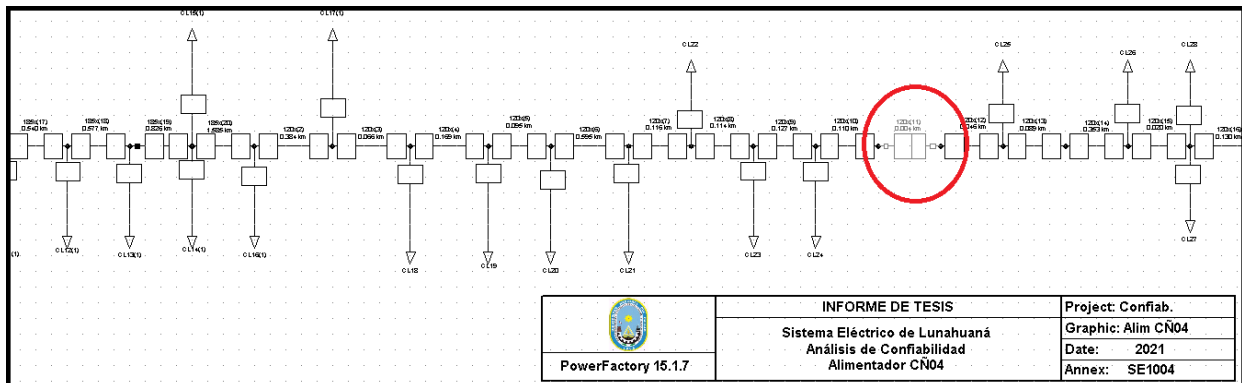
**Figura 29. Resultados de indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI - CÑ01**  
Fuente: Power Factory

### 5.5. Análisis de confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná con generación distribuida

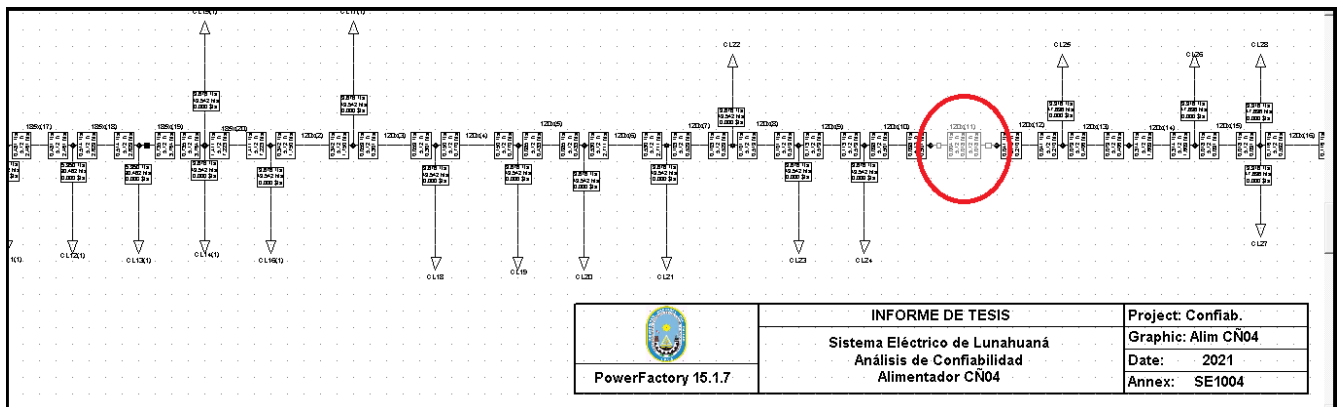
Para el análisis de la confiabilidad en los alimentadores que más impactan en los indicadores de confiabilidad del sistema eléctrico de cañete se implanto la generación distribuida como fuente de generación alterna ante contingencias, debido a que estos alimentadores carecen de enlaces auxiliares que permitan realizar el traslado de carga y por ende los clientes se ven interrumpidos por tiempos prolongados. En este caso es necesario que la Generación Distribuida pueda suplir la demanda cuando se presenten interrupciones en el suministro, por ello es importante que la capacidad de generación sea la suficiente para poder abastecer la demanda. Para que esta mejora de los índices de confiabilidad sea posible es necesario que la generación distribuida opere en modo isla, lo cual no es tan simple ya que se requieren estudios que aseguren que los parámetros de tensión y frecuencia se mantengan dentro de los límites permisibles, así como también un estudio de protecciones ya que al pasar al modo isla se modifica la configuración de la topología de la red por ende la impedancia del sistema para las cuales han sido diseñadas.

Para el análisis de confiabilidad se consideró un escenario post-falla en cada alimentador, de esta forma los nodos aguas abajo del alimentador pasarían a ser atendidos por la generación distribuida operando de esta forma en modo isla, finalmente se corre el análisis de confiabilidad con el software obteniéndose los siguientes resultados para los alimentadores críticos.

## ALIM CÑ - 04



**Figura 30.** Escenario Post – falla  
Fuente: Power Factory



**Figura 31.** Análisis de Confiabilidad con Generación Distribuida  
Fuente: Power Factory

System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI =	5.744257	1/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI =	5.744257	1/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI =	19.703	h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI =	3.430	h
Average Service Availability Index	: ASAI =	0.9977507510	
Average Service Unavailability Index	: ASUI =	0.0022492490	
Energy Not Supplied	: ENS =	365.582	MWh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS =	0.014	MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI =	0.000	MWh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC =	0.000	M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR =	0.000	\$/kWh
System energy shed	: SES =	0.000	MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI =	6.137361	1/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI =	22.289900	h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI =	0.000000	1/Ca

**Figura 32.** Resultados de los Indicadores de Confiabilidad con Generación Distribuida  
Fuente: Power Factory

## 5.6. Evaluación de la confiabilidad

Se muestran los resultados obtenidos del análisis de confiabilidad implantando la Generación Distribuida en el alimentador CÑ04 del Sistema Eléctrico de Lunahuaná, puede apreciarse la mejora de los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI. Para que la optimización de estos indicadores sea posible se debe poder operar la Generación Distribuida en modo isla intencional, para esto debe tenerse en cuenta consideraciones, económicas y normativas.

Se debe tener en cuenta las tolerancias que le corresponde a este sistema eléctrico de cañete que se caracteriza por estar dentro del Sector típico 3, esto al final será comparado con los resultados que se obtendrán de los cálculos de indicadores de confiabilidad por alimentador.

**Tabla 22.** Tolerancias del Sistema Eléctrico de Lunahuaná

Sistema Eléctrico de Lunahuaná - SE 1004	
Sector típico 3	
SAIFI	SAIDI
12	24

Fuente: Elaboración propia del autor

**Tabla 23.** Mejora de indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI – Alim CÑ04

INDICADORES CON ORIGEN DE INTERRUPTIÓN EN INSTALACIONES DE DISTRIBUCIÓN	SISTEMA ELÉCTRICO DE LUNAHUANÁ SE 1004	
	SAIDI (horas por año)	SAIFI (veces por año)
Sin Generación Distribuida	28.44	7.45
Con Generación Distribuida	19.70	5.74

Fuente: Elaboración propia del autor

Se puede apreciar la disminución en un 44 % del indicador SAIDI y de un 29% para el SAIFI del Sistema Eléctrico de Lunahuaná realizada la evaluación con generación distribuida, estos valores según apreciamos se encontrarían dentro de las tolerancias establecidas por el OSINERGMIN para este sector típico evitando así el pago de multas o penalidades por mala confiabilidad del suministro.



## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados**

#### Hipótesis General

Se puede validar la hipótesis “La generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021”, en base a los resultados determinando, que con la implementación de la generación distribuida se reduce la duración de interrupciones del sistema eléctrico mejorando el índice de confiabilidad SAIDI, así mismo se tiene una reducción en la frecuencia de las interrupciones mejorando el índice de confiabilidad SAIFI, con ello la hipótesis general esa validada.

#### Hipótesis Especifica 1:

La primera hipótesis específica “La ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021”, se puede validar con los resultados obtenidos ya que la ubicación determinada para la generación distribuida fue seleccionada en base a la tecnología que se usara para nuestro caso fue los paneles fotovoltaicos el cual aprovecha la radiación solar de la zona brindándole una mayor eficiente energética y con ello una mejora en los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI.

#### Hipótesis Especifica 2:

La segunda hipótesis específica “El dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021”, se puede validar con los resultados obtenidos ya que, con un correcto dimensionamiento y distribución de los paneles fotovoltaicos, así como una correcta inclinación de los mismos disminuye de manera significativa las interrupciones tanto en duración de las mismas como en la frecuencia de ocurrencia.

#### Hipótesis Especifica 3:

La tercera hipótesis específica “Los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021”,

se puede validar con los resultados obtenidos ya que los costos de la generación distribuida son menores a los costos para instalación a una generación eléctrica con medios fósiles, a si mismo permite trabajar con sistemas alternos de energía distribuida para mayor fiabilidad con ello disminuir interrupciones de energía eléctrica.

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

En el estudio realizado por R. Ferreiro (2011) la cual tuvo como objetivo evaluar la factibilidad de implementar generación distribuida de energía eléctrica en Argentina evaluando los recursos presentes en el territorio y la viabilidad económica desde el punto de vista del usuario. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que la generación distribuida ofrecería una mayor eficiencia reduciendo de manera significativa las pérdidas del sistema ofreciendo una mayor cercanía a la demanda, ofrecerá una mayor resiliencia es decir que se diversifica la matriz energética mediante la implementación de unidades de generación que utilizan fuentes de energía más variadas. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación en la cual se ve como la generación distribuida ofrece una confiabilidad en el sistema de generación de energía debido al correcto uso de los recursos naturales y de las baterías para almacenar energía y que pueda ser usada durante la noche.

En la investigación realizada por Grisales, Restrepo y Jaramillo (2017) la cual tuvo como objetivo presentar las consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de analizar, modelar y solucionar el problema de ubicación y dimensionamiento de Generación Distribuida en la red eléctrica de distribución. Las conclusiones de la investigación fueron que la integración de GD puede verse como una ayuda al sistema de distribución desde dos tópicos: permite suplir el aumento de la demanda, utilizando los activos existentes, y además puede impactar de forma positiva las condiciones operativas de la red, siempre y cuando se realice una adecuada ubicación y dimensionamiento de los generadores. Para su integración se debe tener en cuenta la necesidad técnica o económica por parte del OR o agente interesado, el modelo matemático del problema y la técnica de optimización por implementar. Esto se ve reflejado de

manera similar en nuestra investigación ya que el sistema de generación distribuida si bien es cierto puede trabajar por si solo para generar energía en muchos lugares o ambientes se esta usando como una medida de respaldo a medios de generación eléctrica más comunes, aprovechando las condiciones de la zona, para que luego en un futuro se adopte completamente una generación distribuida que pueda cubrir toda la demanda.

En la investigación realizada por Cornejo Solórzano (2017) la cual tuvo como objetivo evaluar la influencia de la generación distribuida en los parámetros de una red secundaria de la ciudad de Arequipa, por la inserción de plantas de generación fotovoltaica. Las conclusiones obtenidas fueron que en el Perú no está definida la reglamentación de la Generación Distribuida a niveles de redes secundarias, en Arequipa tiene potencial para la generación distribuida fotovoltaica por su ubicación geográfica, es factible la micro generación distribuida fotovoltaica para los diferentes consumos de las viviendas, la generación distribuida fotovoltaica, puede suministrar toda la energía necesaria para muchos hogares, siendo el costo de implementación el único inconveniente, la generación distribuida mejora el comportamiento de los niveles de tensión en las redes secundarias, ubicación de las plantas fotovoltaicas de generación distribuida se puede optimizar y lograr mejores características de respuestas y es factible la aplicación a niveles de media y alta tensión. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación dado que se ha comprobado que la generación distribuida en zonas rurales con un correcto aprovechamiento de los medios naturales puede proveer de energía eléctrica igual que un sistema eléctrico convencional usando energía fósil.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

En la presente investigación se consideraron las siguientes responsabilidades éticas:

La autonomía, lo cual consiste en el respeto por la capacidad de decisión de las personas involucradas, quiere decir que todos los participantes de la investigación tuvieron la libertad de elegir ser parte de la investigación haciendo uso de su razonamiento.

Confidencialidad, lo cual consiste en el respeto por la privacidad de la información prestada por todas las personas involucradas.

Autenticidad, lo cual consiste en que todos los procedimientos realizados para el cálculo de los resultados de la presente investigación son bajo datos obtenidos del Sistema Eléctrico de Lunahuaná, no se ha realizado ningún tipo de copia o plagio de otros autores.

Responsabilidad, lo cual consiste en que se asume la responsabilidad de todo lo relacionado con la investigación.

## **CONCLUSIONES**

La Generación Distribuida permite optimizar los indicadores de confiabilidad del Sistema Eléctrico de Lunahuaná ya que minimizan el impacto originado por las interrupciones, tanto los clientes afectados y el tiempo sin suministro son suplidos por la Generación distribuida al operar en modo isla intencional como fuente alterna de energía, para que sea posible esta operación se requiere de un análisis profundo de los sistemas de protección para que pueda dejar operar correctamente a la Generación Distribuida frente a contingencias.

La Generación Distribuida operando en modo isla intencional ante contingencias en alimentadores radiales con carencia de enlaces auxiliares del Sistema Eléctrico de Lunahuaná permite reducir los tiempos de interrupción y clientes afectados ya que tienen la función de energía alterna cuando se presenten interrupciones en el suministro.

La implantación de la Generación Distribuida en el Sistema Eléctrico de Lunahuaná permite la disminución de las compensaciones originadas por las interrupciones a los clientes afectados ya que permitirá que sus tolerancias N y D sean menores ante la rápida reposición del suministro, esto será un ahorro para la empresa concesionaria que está sujeta a penalidades por la mala calidad del suministro brindada a sus clientes.

El diseño e implantación de un Sistema de Generación Distribuida en los alimentadores más críticos del Sistema Eléctrico de Lunahuaná permitió la reducción de los clientes afectados y duración de las interrupciones optimizando los indicadores de confiabilidad para este sistema eléctrico los cuales presentan tolerancias establecidas por la autoridad.

El Sistema Eléctrico de Lunahuaná de la empresa concesionaria Luz del Sur presenta suficiente potencial energético y territorios vastos para implantar Sistemas de Generación Distribuida como la Fotovoltaica, esto debería de aprovecharse al máximo para depender de fuentes de energías renovables en el futuro, de esta forma podríamos asegurar la continuidad del suministro ya que se encontrarían cerca de los centros de carga.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios acerca de la implicación del clima respecto al tipo de tecnología de generación distribuida que se utilizará ya que depende de esto para que la tecnología que se usará tenga la capacidad de cubrir la demanda energética que se requiere, en algunos casos se requiere añadir mas de un método de generación distribuida para que se complementen trabajando en conjunto.
- Realizar análisis topográfico para tener un conocimiento adecuado y preciso de la ubicación para establecer el sistema de generación distribuida que pretende cubrir toda la demanda del sector eléctrico.
- Analizar y comparar las diferentes tecnologías para generación distribuida previo a definir alguna ya que cada una presenta sus ventajas y dependiendo de la zona a veces es mejor una que otra o en algunas ocasiones se trabaja con mas de una para tener un respaldo.
- Realizar comparativa de los diferentes equipos eléctricos para evaluar la calidad y el costo de cada uno de ellos y poder implementar un sistema de bajo costo, pero sin dejar de lado la calidad del sistema de generación distribuida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GARCÍA, Carlos; LÓPEZ, Jesús y GÓMEZ, Tomás. Estimación del costo de distribución de la energía eléctrica en Colombia considerando generación distribuida fotovoltaica. Revista Información Tecnológica [en línea]. 2021, n. °1. [Fecha de consulta: 28 de mayo del 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100079>  
ISSN: 0718-0764
2. Ley n. ° 28832. Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica, Lima, Perú, 23 de julio del 2006.
3. Decreto Legislativo n. ° 1221. Ley que mejora la regulación de la Distribución para Promover el Acceso a la Energía Eléctrica en el Perú, Lima, Perú, 24 de septiembre del 2015.
4. ESPINOZA, Nathaly y BELTRÁN, Juan. Mejoramiento del sistema eléctrico de la ciudad de puerto Maldonado en media tensión. Tesis (Ingeniero Electricista). Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2016.
5. MAYTA, Carlos. Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro. Tesis (Ingeniero Electricista). Huancayo: Universidad Continental, 2019.
6. VILLAR, Jhon. Evaluación de ventajas técnicas para la inclusión a la norma técnica peruana el análisis de respuesta en frecuencia para el diagnóstico de transformadores de potencia. Tesis (Ingeniero Electricista). Huancayo: Universidad Continental, 2019.
7. SIMEÓN, Franklin. Ubicación óptima del seccionador fusible para mejorar los indicadores SAIDI y SAIFI en el sistema eléctrico rural de Ayacucho. Tesis (Ingeniero Electricista). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
8. MOEHLECKE, A. y ZANESCO, I. Situación actual de sistemas fotovoltaicos para generación distribuida en Brasil. Revista Energías Renovables y Medio Ambiente [en línea]. 2018. n. °1. [Fecha de consulta: 28 de mayo del 2021]. Disponible en <https://cutt.ly/XnpaHQi>

ISSN: 0328-932X

9. LILIAN, Katia. Análisis multicriterio del ingreso de generación distribuida fotovoltaica en las redes de distribución de la empresa eléctrica quito. Tesis (Maestría en Ecoeficiencia Industrial). Quito: Universidad Internacional SEK, 2020.
10. TRONCOSO, Uriel. Dimensionamiento y evaluación económica de generación distribuida fotovoltaica en áreas residenciales comunitarias con conexión a la red y esquema Netbilling. Tesis (Ingeniero Civil Eléctrico). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2020.
11. OSINERGMIN. 4to Congreso Internacional-Supervisión del Servicio Eléctrico, Lima, Perú, 2016.
12. GALDÓN, José; GUAITA, Inmaculada y MARÍ, Bernabé. Análisis del sistema eléctrico español. Revista Técnica Industrial [en línea]. 2017. n. °1. [Fecha de consulta: 28 de mayo del 2021]. Disponible en <http://doi.org/10.23800/8866>  
ISSN: 0040-1838
13. PALAZUELOS, Enrique. El oligopolio que domina el sistema eléctrico [en línea]. Madrid: Ediciones Akal, 2019 [Fecha de consulta: 28 de mayo del 2021]. Capítulo 1. Tres premisas de partida. Disponible en <https://cutt.ly/BnphHOY>  
ISBN: 978-84-460-4836-7
14. QUIZHPE, Sairy y QUISHPE, Jeverson. La ética aplicada a una central eléctrica de generación distribuida fotovoltaica. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana [en línea]. 2019. n. °1. [Fecha de consulta: 28 de mayo del 2021]. Disponible en <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/05/etica-central-electrica.html>  
ISSN: 1696-8352
15. TIGSELEMA, Mayra y TIPÁN, Sergio. Simulación de un sistema de generación distribuida que permita determinar indicadores de confiabilidad con diferentes escenarios de operación. Tesis (Ingeniero Eléctrico). Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019.



## **ANEXOS**

## ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TEMA: GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LUNAHUANÁ - 2021**

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<b>General:</b> ¿De qué manera la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?	<b>General:</b> Determinar de qué manera la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.	<b>General:</b> La generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.	<b>Variable Dependiente</b> Y=Confiabilidad del Sistema Eléctrico	SAIDI	Tiempo de la duración de la interrupción	<p style="text-align: center;"><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b></p> <p style="text-align: center;">Aplicativa</p> <p style="text-align: center;"><b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">Cuasi experimental</p> <p style="text-align: center;"><b>POBLACIÓN</b></p> <p>La población estará conformada por el sistema eléctrico de Lunahuaná</p> <p style="text-align: center;"><b>MUESTRA</b></p> <p>La muestra estará conformada por el sistema eléctrico de Lunahuaná</p>
<b>Específicos:</b>	<b>Específicos:</b>	<b>Específicas:</b>		SAIFI	Frecuencia de ocurrencia de las interrupciones	
¿De qué manera la ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?	Determinar de qué manera la ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.	La ubicación de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.	<b>Variable independiente</b> X=Generación distribuida Fotovoltaica	Ubicación	> N.º de generadores distribuidos	
¿De qué manera el dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?	Determinar de qué manera el dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.	El dimensionamiento de la generación distribuida fotovoltaica mejora la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.		Dimensionamiento	> N.º de inversores > Potencia de entrada por inversor > Potencia de salida por inversor > Potencia de salida total	
¿De qué manera los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021?	Determinar de qué manera los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.	Los costos de la generación distribuida fotovoltaica mejoran la confiabilidad en el sistema eléctrico de Lunahuaná-2021.		Costo	>Capacidad > Demanda > Niveles de tensión	

## ANEXO N.º 02: Esquema Geográfico

