

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAB DEL  
CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA.**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS:**

---

**“CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
AUTÓNOMOS COMO SOPORTE PARA LA ELECTRIFICACION  
RURAL – QUISPICANCHIS 2021”**

---

**Presentado por:**

**Br. Katherine Lorena Aiquipa Puma.**

**Br. Juan Carlos Condori Cutipa.**

**Para optar título profesional de  
Ingeniero Electricista.**

**Asesor: Ing. Mario Gonzales Vargas.**

**CUSCO – PERÚ**

**2022**

## PRESENTACIÓN

Señor: Decano De La Facultad De Ingeniería Eléctrica, Ingeniería  
Electrónica, Ingeniería Informática e Ingeniería Mecánica.

Señores: Dictaminantes y Replicantes:

En cumplimiento con las disposiciones del Reglamento De Grados y Títulos Vigentes, y con el objeto de optar al título profesional de Ingeniero Electricista, presento a vuestra consideración la tesis intitulada: **“CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS COMO SOPORTE PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL - QUISPICANCHIS 2021.”** , trabajo que se realiza para las características de la provincia de Quispicanchis durante el año 2021 y que servirá como un aporte y/o base para futuros proyectos relacionados, este trabajo también contribuirá a optimizar y realizar de manera más eficiente las actividades de mantenimiento relacionados con los sistemas fotovoltaicos autonomos.

Por lo que la tesis tiene la finalidad, de realizar el análisis de confiabilidad de los sistemas fotovotaicos para optimizar las actividades de mantenimiento.

## AGRADECIMIENTO

A nuestros docentes

“Sus consejos fueron determinantes, sus conocimientos implacables y precisos, a ustedes nuestros docentes queridos, les debemos todo lo aprendido. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos, por su dedicación.”

A nuestros padres

“Ustedes han sido siempre el motor que impulsan nuestros sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a nuestro lado en los días y noches más difíciles durante las horas de estudio. Siempre han sido nuestros mejores guías.

Gracias por ser quienes son y por creer en nosotros”

## DEDICATORIA

El presente trabajo investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener el titulo universitario siendo este uno de los anhelos más deseados.

Dedico con mucho amor la presente tesis a mis padres Rosa y Julio Cesar por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mi hermano Martin por el apoyo incondicional, A Elizabeth, por entenderme en todo, por el amor incondicional, por sus tantas ayudas y muchos aportes.

Juan Carlos Condori Cutipa.

## INDICE

PRESENTACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA .....	IV
INDICE .....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABLAS .....	XI
ABREVIATURAS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I .....	2
1.1. PROBLEMA.....	2
1.1.1. Planteamiento del Problema .....	2
1.1.2. Formulación del Problema.....	5
1.2.2.1 Problema General .....	5
1.2.2.2 Problemas Especificos. ....	5
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos .....	6
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	6
1.4.1. Alcances.....	6
1.4.2. Limitaciones.....	7
1.5 HIPÓTESIS.....	7
CAPÍTULO II:.....	8
MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. ANTECEDENTES.....	8

2.1.1	Antecedentes Nacionales .....	8
2.1.2	Antecedentes Internacionales .....	10
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1	Aspectos Teóricos Pertinentes.....	12
2.4	MARCO CONCEPTUAL.....	23
2.4.1	Sistemas Fotovoltaicos .....	23
2.4.1.1	Partes de un Sistema Fotovoltaico .....	23
2.4.1.2	Funcionamiento.....	24
2.4.1.3	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	24
2.4.2	Radiación Solar.....	24
2.4.2.1	Definición.....	24
2.4.2.2	Radiación Solar en el Perú .....	25
2.4.3	Electrificación Rural .....	25
2.4.3.1	Definición.....	25
2.4.3.2	Usos de la electricidad Rural.....	26
2.4.3.3	Beneficios de la Electrificación Rural.....	27
2.4.4	Marco Normativo y Legal.....	28
CAPITULO III:.....		29
DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO QUISPICANCHIS.....		29
3.1	INTRODUCCIÓN .....	29
3.2	SISTEMA ELÉCTRICO QUISPICANCHIS .....	29
3.2.1	Ubicación Del Sistema Eléctrico .....	29
3.2.2	Configuración Del Sistema Eléctrico De Quispicanchis.....	30
3.2.2.1	Características Técnicas Del Sistema En Estudio.....	33
3.2.2.2	Subestaciones Eléctricas Comprendidas En El Sistema Eléctrico.....	33
3.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS DE LA PROVINCIA DE QUISPICANCHIS. ....	36

3.3.1 Sistema Fotovoltaico Instalado.....	36
3.3.2 Situación actual de Sistemas Fotovoltaicos instalados.....	37
3.4 CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - QUISPICANCHIS .....	38
3.4.1 Análisis De Fallas .....	39
3.4.1 Identificación de modos de falla e interrelaciones.....	39
3.4.1.1 En elementos del sistema fotovoltaico autónomo.....	39
a) Generador fotovoltaico:.....	39
b) Batería: .....	39
c) Regulador de carga: .....	39
d) Cableado:.....	40
3.4.1.2 Dependencias entre elementos del sistema .....	40
a) Generador sobre batería:.....	40
b) Regulador de carga sobre batería: .....	40
3.4.2 Tratamiento y desarrollo de diagramas de falla.....	40
a) Nivel básico: .....	41
3.5 Análisis De Confiabilidad .....	42
3.5.1 Generalidades.....	42
3.5.2 Datos disponibles actualmente.....	42
3.5.2.1 Confiabilidad.....	43
a) Generador fotovoltaico: .....	43
- Tasa de fallas (MTBF): .....	43
- Potencia inicial: .....	44
- Pérdidas por envejecimiento.....	44
- Deterioro por avería.....	44
b) Batería.....	45
- Tiempo de operación. ....	45

- Capacidad inicial real. ....	45
- Pérdida por envejecimiento. ....	46
- Regulador. ....	47
- Cableado. ....	47
3.6 Modelado De La Confiabilidad Del Sistema. ....	47
3.6.1 Modelado de la confiabilidad ....	48
3.6.1.1 Generador fotovoltaico.....	49
3.6.1.2 Batería ....	51
3.6.1.3 Regulador.....	55
3.6.1.4 Cableado.....	55
3.6.1.5 Sistema.....	55
3.7 Evaluación De La Confiabilidad En La Electrificación Rural.....	56
3.7.1 Evaluación de la confiabilidad relacionada con las fallas ....	56
- Evaluación.....	57
3.7.2 Aspectos técnicos particulares.....	59
3.7.3 Potencia real del módulo fotovoltaico en su operación.....	59
3.7.3.1 Capacidad real de la batería en su operación.....	60
3.8 Evaluación De La Confiabilidad En Quispicanchis en base a la Metodología RCM 61	
3.8.1 Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA).....	62
3.8.2 Número de Prioridad de Riesgo (NPR) ....	70
3.8.3 Plan de Mantenimiento.....	74
3.9 Definición de términos y variables para el análisis de confiabilidad	76
3.9.1 Conceptos básicos.....	76
3.9.2 Términos.....	77
3.9.3 Expresiones matemáticas básicas.....	85
3.9.3.1 Expresiones dependientes del tiempo.....	85



3.9.3.2	Expresiones de valor medio .....	93
3.9.3.3	Aplicación a sistemas con configuración serie y paralelo .....	97
3.9.4	Métodos de análisis de fallas .....	99
3.9.4.1	Análisis de Modos de falla y sus Efectos.....	100
3.9.4.2	Árbol de fallas .....	102
3.9.5	Metodología general del análisis de confiabilidad .....	102
3.9.6	Metodología del RCM .....	103
3.9.6.1	¿Qué es el RCM? .....	103
3.9.6.2	Metodología del RCM según norma SAE JA.....	103
CAPITULO IV : METODOLOGIA.....		107
4.1	Enfoque de investigación. ....	107
4.2	Alcance de investigación.....	107
4.3	Diseño de investigación. ....	107
4.4	Población de estudio. ....	109
4.5	MUESTRA.....	109
4.5.1	Determinación del tamaño de la muestra .....	109
4.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	110
4.6.1	Técnicas de recolección de datos .....	110
4.6.2	Instrumentos de recolección de datos .....	110
4.7	Confiabilidad y validez de instrumentos.....	110
4.8	Plan de analisis de datos.....	113
CONCLUSIONES .....		127
SUGERENCIAS .....		128
BIBLIOGRAFÍA .....		129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de radiación solar en el Perú (Fuente: “Desarrollo de fuentes de energía renovable en el Perú . Instituto de Regulación y Finanzas” (Universidad ESAN)” ) .....	25
Figura 2 Diagrama Unifilar Quispicanchis (Fuente: Gobierno Regional Cusco).....	31
Figura 3 Sistema Eléctrico Quispicanchis (Fuente: Gobierno Regional Cusco).....	32
Figura 4 Sistema Fotovoltaico instalado en Quispicanchis (Fuente: TDR ELSE) .....	37
Figura 5 Esquema Ilustrativo de conexión (Fuente: TDR ELSE) .....	37
Figura 6 Fallas del sistema fotovoltaico (Fuente: Elaboración Propia).....	41
Figura 7 Régimen de envejecimiento de las baterías (Fuente: Elaboración propia) .....	46
Figura 8 Tasa de súbita, por envejecimiento y conjunta (Fuente: Elaboración propia)	50
Figura 9 Vida útil del generador fotovoltaico (Fuente: Elaboración propia) .....	51
Figura 10 Tiempo de vida de la batería vs. profundidad de descarga (Fuente: Elaboración propia).....	54
Figura 11 Gráfico de confiabilidad Generador (RG), Batería (RB), Regulador (RR), Cableado (RC) y Sistema. (Fuente: Elaboración propia) .....	58
Figura 12 Esquema global de funcionamiento de un generador eléctrico.(Fuente: M. Kolhe, 2002).....	79
Figura 13 Esquema de estados de un sistema reparable (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017) .....	88
Figura 14 Tasa de falla independiente del tiempo (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)).....	90
Figura 15 Distribución de Weibull (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)).....	91
Figura 16 Curva de la Bañera (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)) .....	92
Figura 17 Tasa de falla decreciente-creciente (Fuente: (NAVAS ALVAREZ, 2017) ..	93
Figura 18 Funciones del valor medio en una secuencia de operación del sistema reparable (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)) .....	94

Figura 19 Elementos en serie (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)) .....	97
Figura 20 Elementos en paralelo (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)).....	98
Figura 21 Ejemplo de formato de una hoja de trabajo AMFE (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017)) .....	102
Figura 22 Foto (Fuente: Propia).....	150
Figura 23 Batería de SFVA (Fuente: Propia) .....	150
Figura 24 Accesorios de SFVA (Fuente: Propia) .....	151
Figura 25 Accesorios de SFVA (Fuente: Propia) .....	151
Figura 26 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	152
Figura 27 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	152
Figura 28 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	153
Figura 29 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	153
Figura 30 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	154
Figura 31 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	154
Figura 32 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	155
Figura 33 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	155
Figura 34 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	156
Figura 35 Familia beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia).....	156
Figura 36 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	157
Figura 37 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia) .....	157

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clientes por Distrito - Quispicanchis.....	33
Tabla 2 Distribución de sub estaciones por tipo de operación .....	34
Tabla 3 Sub estación por el tipo de suministro.....	35
Tabla 4 Sistemas Fotovoltaicos instalados por Distrito.....	38
Tabla 5 Fallas en módulos fotovoltaicos .....	43
Tabla 6 Relación entre Potencia inicial y nominal .....	44
Tabla 7 Pérdidas por envejecimiento.....	44
Tabla 8 Avería de equipos .....	45
Tabla 9 Tiempo de operación de baterías .....	45
Tabla 10 Tiempo de operación de baterías .....	46
Tabla 11 Régimen de envejecimiento de las baterías.....	46
Tabla 12 Fallas de los reguladores.....	47
Tabla 13 Fallas de los reguladores.....	47
Tabla 14 Data para la evaluación de la confiabilidad referente a las fallas.....	57
Tabla 15 Resultados.....	58
Tabla 16 Resultado de la tasa media del tiempo de falla.....	59
Tabla 17 Valores reales de los generadores.....	59
Tabla 18 Valores reales de las baterías.....	60
Tabla 19 Análisis de Modos y Efectos de Falla.....	62
Tabla 20 Número de Prioridad de Riesgo.....	70
Tabla 21 .....	74
Tabla 22 <i>Expresiones básicas de fiabilidad en distribución Exponencial</i> .....	90
Tabla 23 <i>Expresiones básicas de fiabilidad en distribución de Weibull</i> .....	91
Tabla 24 <i>Índice de clasificación de Ocurrencias</i> .....	104
Tabla 25 <i>Índice de clasificación de Gravedad</i> .....	105
Tabla 26 <i>Índice de clasificación de Detección</i> .....	105

## ABREVIATURAS

<b>IEEE</b>	: Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónicos
<b>SFV</b>	: Sistema Fotovoltaico
<b>MEM</b>	: Ministerio de Energía y Minas
<b>OREDA</b>	: Offshore and Onshore Reliability Data
<b>MTTF</b>	: Tiempo medio de falla
<b>MTFF</b>	: Tiempo medio a la Primera falla
<b>MTBF</b>	: Mean Time Between Failures
<b>MDT</b>	: Mean Down Time
<b>MTSR</b>	: Mean Time to Start Repairing
<b>MTTR</b>	: Mean Time To Repair
<b>MUT</b>	: Mean Up Time
<b>FMEA</b>	: Análisis de Modos de falla y sus Efectos
<b>RCM</b>	: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad
<b>SAE</b>	: Sociedad de Ingenieros de la industria automovilística
<b>SFA</b>	: Sistema Fotovoltaico Autónomo
<b>SFCR</b>	: Sistema Fotovoltaico Conectado a Red
<b>DGE</b>	: Dirección General de Electricidad
<b>NTCSE</b>	: Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico
<b>INEI</b>	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
<b>SEIN</b>	: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
<b>ELSE</b>	: Electro Sur Este
<b>AWG</b>	: American Wire Gauge
<b>LVD</b>	: Low-voltage differential
<b>SLI</b>	: Starting, lighting and ignition
<b>VRLA</b>	: Valve regulated lead acid battery

## RESUMEN

En el presente trabajo **“CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS COMO SOPORTE PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL - QUISPICANCHIS 2021”**, se realizó un estudio de confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos en la provincia de Quispicanchis.

Los sistemas Fotovoltaicos autónomos representan una alternativa de solución para la electrificación en lugares donde no se cuenta con redes eléctricas convencionales, en este caso la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.

Actualmente se han instalado 1012 sistemas fotovoltaicos autónomos en la provincia de Quispicanchis a cargo de la empresa ccesionaria Electro Sur Este (ELSE), de las cuales se han evidenciado diversos problemas que afectan la operatividad de los sistemas eléctricos, con el agravante que hay algunos usuarios que pagan la tarifa sin contar el servicio, situación que genera el incremento de los SFV inoperativos y como consecuencia el malestar en la población beneficiaria.

En este contexto, la presente tesis determina la confiabilidad y garantiza el crecimiento el coeficiente de electrificación de los SFVA como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis. Por una parte, se establecen herramientas de análisis, método análisis de falla, evaluando los datos de cada componente de SFVA, para después proponer un plan de mantenimiento para brindar un servicio de calidad e igualitario para todos los beneficiarios ubicados en la provincia de Quispicanchis.

## INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de reducir la brecha de electrificación rural, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) viene impulsando diversos proyectos eléctricos con energías renovables en áreas no conectadas a red

Actualmente se tienen instalados más de 135 mil paneles solares en diferentes zonas rurales del norte, centro y sur del país, beneficiando a las zonas más pobres y aisladas del Perú.

Dentro de las diversas zonas donde han sido instalados estos Sistemas fotovoltaicos está la región del Cusco y sus diferentes provincias.

En Cusco se ha encontrado que muchos de los Sistemas instalados están inoperativos lo que nos hace preguntarnos si los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables y garantizan el crecimiento del coeficiente de electrificación como soporte para la electrificación rural en sus diferentes provincias, en este caso la provincia de Quispicanchis.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es determinar la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis, para contribuir a la mejora de la calidad de suministro eléctrico y disminuir la tasa de los Sistemas Fotovoltaicos inoperativos.

Para llevar a cabo este estudio el trabajo se ha estructurado en cuatro capítulos en los que se desarrollan los objetivos, antecedentes, justificación, teoría de los sistemas fotovoltaicos y la teoría referente a la confiabilidad, también se aborda la situación actual del sistema eléctrico de la Provincia de Quispicanchis para finalmente poder realizar el análisis de confiabilidad.

## CAPÍTULO I

### 1.1. PROBLEMA

#### 1.1.1. Planteamiento del Problema

"...El planteamiento del problema, es uno de los procesos más importantes de la investigación. Su estructura está constituida por limitantes e interrogantes que cuestionan la naturaleza del fenómeno y por las implicancias sociales de su solución. El planteamiento del problema es un proceso mediante el cual se fracciona la realidad en la mente a fin de dirigirse la atención hacia una parte específica de la misma..."<sup>1</sup>

La matriz energética primaria mundial da cuenta de la vital importancia que tienen los combustibles fósiles. Más del 80% de la energía que mueve al mundo provienen de estas fuentes de energía. El carbón es uno de los combustibles más utilizados en países como Estados Unidos, Alemania o China.

Vivimos en un mundo que consume cada vez más energía, la generación de electricidad se ha quintuplicado en los últimos 40 años. El 40% de todas las fuentes primarias de energía se utilizan para generación eléctrica. La importancia del carbón se profundiza al aportar el 40% del combustible mundial para electricidad. También, ha crecido la participación de la energía hidroeléctrica con el 16% y la nuclear con cerca del 8%.

El uso de combustibles fósiles para la energía no es sostenible. Ya que la combustión de los combustibles fósiles da como resultado la liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros contaminantes (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, mercurio y otros metales tóxicos) a la atmósfera. Las concentraciones de estos contaminantes causan una serie de impactos ambientales, incluyendo Calentamiento global y efectos en la salud respiratoria. El ritmo al que consumimos los combustibles fósiles son mucho más altos que la tasa a la que se reponen, por lo que la humanidad no puede confiar en esta fuente de energía para siempre. La dependencia por los combustibles fósiles insta a buscar alternativas de producción más limpias que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático como las energías renovables (solar, eólica y geotérmica). La generación eléctrica a partir de este conjunto de fuentes es hoy el 2,8%.

---

<sup>1</sup> HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNADEZ COLLADO; BAPTISTA: Titulo Metodología de la Investigación; Ciudad de Mexico; Editorial Trillas; 2015.



En América Latina se está apostando por estas energías. Uruguay y Costa Rica ya producen más del 20% con estas fuentes. Chile, Colombia y Ecuador proyectan el 20% en un promedio de cinco años.

En Perú el 50% proviene de generación hidroeléctrica, 45% a generación térmica y 5% de la matriz a energías renovables.

De las dos fuentes más importantes de energía que tenemos, la energía térmica es la más contaminante. Esto se da por el uso de hidrocarburos, como gas, petróleo y diésel. Su quema en actividades como transporte, industria y hogares, emite partículas que afectan la calidad del aire.

Pese a que la matriz energética del Perú es una de las más limpias de la región, Perú es dependiente de los combustibles fósiles y esto aún seguirá siendo determinante para el país a causa de los precios favorables del gas de Camisea y de las centrales hidroeléctricas.

Se ha estimado que Perú tiene condiciones favorables para el desarrollo de proyectos de energía solar. No obstante, el potencial solar del país todavía no se ha explotado.

La energía solar fotovoltaica conjuga la protección medioambiental con el desarrollo rural y el acceso a la electricidad de personas que actualmente no disponen de ella. El 14% de viviendas en nuestro país no cuentan con alumbrado eléctrico por red pública, es decir cerca de dos millones de peruanos no tienen acceso a la electricidad.

La dotación de energía eléctrica a la población ubicada en zonas rurales, localidades aisladas y de frontera del país, mediante fuentes de generación convencionales con extensión de redes, se hace inviable e insostenible, es así que los sistemas fotovoltaicos autónomos, se convierten en la mejor alternativa para dotar de energía eléctrica a la población ubicada en dichas zonas.

Actualmente, se viene realizando inversiones en proyectos para que los usuarios sin servicio eléctrico sean beneficiados.

El Perú cuenta aproximadamente con 135000 sistemas fotovoltaicos (SFV) en operación comercial ubicados en zonas rurales, localidades aisladas y de frontera del país. La administración de estos sistemas está a cargo de las empresas distribuidoras de cada Región. Cusco cuenta con un total de 8350 sistemas fotovoltaicos instalados en sus diferentes provincias.

Electro Sur Este S.A.A. es la empresa concesionaria de la regiones de Cusco, Apurímac y Madre de Dios, esta se encarga del cobro (aplicando la tarifa BT8) y supervisión de la operación y mantenimiento de los SFV instalados.

Quispicanchis es una de la provincias de Cusco que se encuentra interconectado al sistema eléctrico mediante las líneas de subtransmisión L-3301 (Quencoro -Oropesa - Huaro) en 33KV, este pequeño sistema eléctrico es denominado como Valle Sagrado Sur según el pliego tarifario de OSINERGMIN. En esta provincia se tienen 1012 sistemas fotovoltaicos instalados.

Se han evidenciado diversos problemas que afectan la operatividad de los sistemas eléctricos rurales, con el agravante de que se encontraron casos en las que algunos usuarios pagan la tarifa correspondiente sin contar con el servicio, debido a la falla de alguno de los componentes principales (panel fotovoltaico, controlador de carga y batería) del sistema fotovoltaico y que estos no son subsanados oportunamente por las empresas que administran este servicio, identificándose que el principal problema es la gestión ineficiente de operación y mantenimiento (preventivo y correctivo) por parte de las empresas que los administran, situación que genera el incremento del número de SFV inoperativos y como consecuencia el malestar de la población beneficiaria.

### **1.1.2. Formulación del Problema.**

#### **1.2.2.1 Problema General**

- ✓ ¿En que medida los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis?

#### **1.2.2.2 Problemas Especificos.**

- ✓ ¿De que manera una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas unifica la influencia de la fiabilidad asociada a averías, los problemas derivados de su mantenimiento?.
- ✓ ¿De que manera influye un plan de mantenimiento preventivo para así brindar un servicio de calidad?
- ✓ ¿De que manera por el pago efectuado obtendrán un buen servicio y contribuye con el bienestar y desarrollo de la población?

### **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

El suministro directo de electricidad a muchas poblaciones en áreas rurales de la zona de concesión de la empresa concesionaria (ELSE) se hace imposible debido a la lejanía y el excesivo costo que ocasionaría la instalación de los mismos. Por esto se ha instalado sistemas fotovoltaicos no conectados a red.

La carencia de una adecuada propuesta para el suministro de energía a zonas aisladas trae como consecuencia la disminución de la calidad del suministro y ocasiona la pérdida de beneficio de los consumidores, por esta razón se hace necesario establecer un sistema de generación fotovoltaica autónoma acorde como una propuesta de alternativa de solución, para mejorar la calidad de vida de la población beneficiaria.

- **Conveniencia.**

Los aspectos que frecuentemente se manifiestan en la operación de los sistemas eléctricos fotovoltaicos relacionados con la calidad y que ocasionan insatisfacción del cliente son:

- ✓ Reducción de la vida útil de los equipos eléctricos.
- ✓ Deterioro de los equipos que usan componentes electrónicos.
- ✓ El trabajo de Investigación es conveniente porque permitirá dar a conocer las incidencias que se presentan en contra de la confiabilidad del suministro energético mediante la incorporación de sistemas fotovoltaicos al sistema.

- **Relevancia social.**

El adecuado análisis de confiabilidad, reducirá el riesgo de interrupciones que afectan a la población en especial grupos vulnerables, permitiendo también la mejora de la calidad del suministro y mejorar calidad de vida de las poblaciones beneficiarias.

- **Implicancias prácticas.**

La implementación de un modelo adecuado de la confiabilidad en los sistemas fotovoltaicos ayudará a disminuir y/o eliminar los puntos críticos de operación, se logrará una nueva imagen de los productores de energía en zonas aisladas.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Dentro de la amplia problemática de la electrificación fotovoltaica, que abarca aspectos sociales, económicos y técnicos, muchos de ellos más relacionados con el carácter descentralizado de la aplicación, la presente tesis se marca como objetivo general:

- Determinar en que medida los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Establecer de que manera una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas unifica la influencia de la fiabilidad asociada a averías, los problemas derivados de su mantenimiento.
- ✓ Proponer de que manera influye el mantenimiento preventivo a través de un plan para así brindar un servicio de calidad.
- ✓ Determinar de que manera por el pago efectuado obtendrán un buen servicio y contribuye en el bienestar y desarrollo de la población.

### **1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES**

#### **1.4.1. Alcances**

El alcance de la investigación está dado principalmente analizar la aplicabilidad de conceptos de confiabilidad a los sistemas fotovoltaicos. La experiencia en el análisis

bajo condiciones de operación dentro de un sistema de generación de electricidad, motivan a investigar la forma de aplicarlas en un mercado eléctrico muy dinámico.

#### **1.4.2. Limitaciones**

El estudio se desarrolla tomando en cuenta los sistemas fotovoltaicos autónomos instalados en el área de la Provincia de Quispicanchis.

### **1.5 HIPÓTESIS**

#### **1.5.1 HIPOTESIS GENERAL**

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.

#### **1.5.2 HIPOTESIS ESPECIFICOS**

- ✓ Una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas unifica altamente la influencia de la fiabilidad asociada a averías, los problemas derivados de su mantenimiento.
- ✓ El mantenimiento preventivo a través de un plan influye altamente para así brindar un servicio de calidad.
- ✓ Por el pago efectuado obtendrán un buen servicio y contribuye en el bienestar y desarrollo de la población

## CAPÍTULO II:

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1 Antecedentes Nacionales

- ✓ Walter Víctor Frisancho Camero de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica con su proyecto de tesis:, “ANALISIS EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA ELECTROSOLAR”, del año 1996, que tiene como objetivo analizar experimentalmente las características de operación de un sistema electro – solar y evaluar las perspectivas de utilización en las zonas rurales alejadas e imposibilitadas de obtener el servicio de la red convencional. Llegando a la conclusión que el sistema eléctrico solar diseñado y construido, opera satisfactoriamente y cumple con las condiciones técnicas económicos y por tanto su aplicación es factible en la transformación de energía solar a eléctrica.
  
- ✓ Walter Navarrete Zevallos y José Wilfredo Callasi Quispe, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica con su proyecto de tesis: “APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN ELECTRIFICACION RURAL”, del año 1998, que tiene como objetivo general es el análisis de la Aplicación de los Sistemas fotovoltaicos en electrificación rural y evaluar el comportamiento del sistema fotovoltaico. Llegando a la conclusión que la aplicación de sistemas fotovoltaicos es una alternativa viable que cubren la necesidad de energía básica en poblaciones alejadas de la red convencional, los efectos de la utilización se traducen en mejorar la calidad de vida, educación, salud y otros aprovechando el potencial energético solar en la región.
  
- ✓ Surem Carrillo Segura, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica con su proyecto de tesis: “VIABILIDAD DE LA GENERACION DE LOS EDIFICIOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELECTRICA CUSCO”, teniendo como objetivo principal: Encontrar una metodología para poder hallar

la energía que puede generar un edificio fotovoltaico conectado a la red y de esta forma mitigar la contaminación ambiental y la descentralización de la producción de energía eléctrica. y llegando a la conclusión que técnicamente es viable la generación eléctrica de los mediante sistemas fotovoltaicos en la ciudad del Cusco, ya que el Performance Ratio está por encima de los estándares internacionales, con los que se mide este tipo de instalaciones. No se puede decir lo mismo de la rentabilidad económica ya que en los casos evaluados para poder recuperar la inversión se tendría que poner el precio del kWh entre 40 y 45 ctvs. de dólar, valor que está por encima de la tarifa del mercado local.

- ✓ Yury Neil Esquivel Villafuerte y Juvenal Percy Nina Cruz de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica con su proyecto de tesis: “PROYECTO DE “ELECTRIFICACION RURAL MEDIANTE EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA COMUNIDAD DE ANCHIHUAY Y DEL DISTRITO DE ECHARATE, PROVINCIA DE LA CONVENCION”, del año 2010, teniendo como objetivo principal: Proveer de energía eléctrica a la comunidad de Anchiuay a través del sistema fotovoltaico. Concluyendo que el aprovechamiento de la energía solar como fuente de energía, por si ya es sostenible, porque usa como fuente de energía los rayos solares y protege entonces el medio ambiente, pero la sostenibilidad también debe incluir un bajo costo de operación y mantenimiento por lo que el sistema funciona a largo plazo sin mayores costos o dependencias.
  
- ✓ Paúl Simón Abad Mariños y Edwins Alex Flores Mendo, de la Universidad Nacional de Santa, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería en Energía con su proyecto de tesis: “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PLATAFORMA DE DESCARGA DE LA PESQUERA EXALMAR -CHIMBOTE PERÚ” del año 2016, teniendo como objetivo principal: Realizar un estudio para dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo en la plataforma de descarga de la pesquera Exalmar Chimbote para reducir el consumo de combustible, llegando a la conclusión que con la instalación del sistema fotovoltaico se obtiene una disminución de emisiones de gases de efecto invernadero que son: 17,96 Ton de CO<sub>2</sub> ; 0,729

Ton de CH<sub>4</sub>; 0,145 Ton de N<sub>2</sub>O al año que se dejaron de emitir al medio ambiente, un tiempo de retorno de la inversión de 3,42 años, un TIR de 26 % y finalmente un VAN de 47 007,82 lo cual es un VAN > 0, lo que demuestra que el proyecto es viable.

### 2.1.2 Antecedentes Internacionales

- ✓ G. Carrasco y P. Galimberti, de la Universidad Nacional de Río Cuarto – Facultad de Ingeniería; Córdoba Argentina, con su proyecto de tesis: “DESARROLLO DE COMPONENTES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA SIMULACIÓN BAJO DISTINTAS CONDICIONES CLIMÁTICAS” del año 2011, teniendo como objetivo principal: Simular el comportamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos, basándose en modelos matemáticos existentes, de probada eficacia, que determinan el comportamiento de generadores fotovoltaicos, baterías y regulador de carga, concluyendo que: Los resultados de la simulación, si bien no fueron corroborados experimentalmente, son confiables, ya que cada modelo ha sido corroborado individualmente. Los errores en el método pueden surgir en la generación de los datos climáticos para el año típico, pero esto puede resolverse con la utilización de una base de datos climáticos reales de un periodo de varios años.
- ✓ Luis Fernando García Tirado, de la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electronica con su proyecto de tesis: “EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA QUE PERMITA AUMENTAR LA COBERTURA Y CONFIABILIDAD DE ENERGÍA EN SECTORES RURALES DEL OPERADOR DE RED”, Bogotá – Colombia del año 2016, el cual realiza la evaluación de la factibilidad técnica y económica de implementar generación distribuida fotovoltaica que permita aumentar la cobertura y confiabilidad de energía en sectores rurales considerando el cambio climático, periodos de sequía como el fenómeno del niño, la dependencia en la generación eléctrica en el país de proyectos hidroeléctricos, altos costos de la energía en tiempo de escasez y riesgo de racionamiento, las señales regulatorias, los requerimientos de la regulación en calidad de suministro y



potencia del operador de red concluyendo que la solución planteada en este trabajo es el punto en donde todas estas variables pueden converger de forma positiva y aportando en beneficios y desarrollo para las partes involucradas.

- ✓ Joseph Bello Christophe Jean y Raúl Sánchez Ramón, de la Universidad Nacional de Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas, con su proyecto de tesis: “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS EN ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA” del año 2016, teniendo como objetivo principal: Evaluar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos en zonas concluyendo que al ajustar los modelos de simulación a condiciones reales de operación a fin de optimizar, desde la etapa de diseño, la configuración de este tipo de sistema se puede obtener un aumento de la confiabilidad.
- ✓ Valentina Triviño Castañeda y Andrés Escobar Mejía, de la Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingenierías, con su proyecto de tesis: “ESTIMACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR PARA EL CARGO POR CONFIABILIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS USANDO REDES NEURONALES” del año 2018, teniendo como objetivo principal: Estimar datos de radiación solar requeridos utilizando como datos de entrada la humedad relativa, temperatura ambiente y mes del año. Se concluye que una manera adecuada para tomar los datos en sitio es hacer mediciones cada hora durante un año. Esto se debe a que la Red Neuronal Artificial queda mejor entrenada (menor error) si se toman y adoptan valores de todos los meses del año.
- ✓ José Zambrano Romero, de la Universidad de Sevilla, Dpto. de Ingeniería Energética, Grupo de Termodinámica y Energías Renovables, con su proyecto de tesis: “FIABILIDAD DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE INCIDENCIAS” del año 2016, teniendo como objetivo principal: Realizar un análisis en el que se vea en que partes de una instalación fotovoltaica se producen más incidencias, así como la frecuencia de las mismas, y de esta forma, analizar la criticidad de los componentes. Se concluyó que durante los 84 meses de estudio se han registrado 1263 incidencias de estas, la mayor parte se dan en el inversor (un 46%) y las que menos en la red

eléctrica (un 3%). La instalación solar fotovoltaica es la responsable del 78% de las incidencias que se han registrado durante este periodo.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Aspectos Teóricos Pertinentes.**

La aplicación de los métodos estadísticos al control de calidad en la industria comenzó alrededor de 1930. El objetivo básico era la detección unidades defectuosas y su retiro de a partir de muestras pequeñas, de forma más eficaz y barata, en las cadenas de producción cuando no era posible la revisión de todos y cada uno de los productos fabricados. Pero es durante la Segunda Guerra Mundial cuando comienza a emplearse el término fiabilidad aplicado a sistemas, inicialmente en la industria aeronáutico-militar. Sistemas complejos, con un número elevado de componentes de muy elevada calidad presentaban, sin embargo, un número de fallas inaceptable, con graves consecuencias.

Dentro del sector energético, son las centrales eléctricas cuya fuente energética primaria era la energía nuclear, donde primero y más profundamente se han desarrollado los estudios de fiabilidad. También en este caso, como en el sector aeronáutico, asociados básicamente con la seguridad y la cuantificación de riesgos, destacando, entre todos ellos, el Reactor Safety Study (Commision, 1975) de 1975, base de posteriores estudios y protocolos de actuación ante accidentes nucleares; desde entonces se aplican de forma sistemática metodologías rigurosas para el análisis de falla y de secuencias accidentales, con normativas propias (IEEE, 1987). Su aplicación resulta de utilidad tanto en la fase de diseño, con el objetivo de mejorar la calidad de los componentes y su integración, como durante la fase de operación, para prevenir posibles fallas y reducir sus consecuencias mediante los sistemas de protección adecuados. Más allá de la aplicación de determinados modelos matemáticos y cálculos estadísticos, uno de los principales resultados obtenidos proviene de la necesidad de identificar claramente todas las posibles fallas, su aparición, detección y actuación posterior. Esto ha permitido crear extensas bases de datos de fallas, aprovechables en instalaciones futuras, información que todavía no existe en otras tecnologías energéticas con tal nivel de detalle y amplitud. A partir de la tecnología nuclear los trabajos de análisis de fiabilidad se han extendido a otros sistemas de generación y suministro eléctrico. En estándar generales de análisis de sistemas eléctricos, como el 'IEEE Recommended Practice for Industrial and

Commercial Power Systems (IEEE, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis, 1997), se incluyen ya secciones relativas al análisis de fiabilidad, que se completan con trabajos más específicos como el 'IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Gold Book). En este contexto, se realizan también estudios de sistemas eléctricos completos formados por diferentes tipos de centrales de generación (nuclear + térmica + hidráulica), representativo de un país como España (Gonzales & Juan, 1999). Asimismo, se analiza en términos de fiabilidad la operación básica de redes de transmisión y distribución eléctrica. En estos casos, el objetivo no se centra ya tanto en el estudio de fallas por su influencia sobre la seguridad de la instalación, sino más como causantes de una parada en el suministro eléctrico, esto es, de la indisponibilidad del sistema y, básicamente, por su efecto sobre el coste económico derivado de dicha parada (Distrib, 2002). Al tratar los efectos de una parada del sistema, tanto en su perjuicio sobre el usuario por la falta de suministro eléctrico como por sus consecuencias económicas, aparece un factor añadido clave: el tiempo de mantenimiento hasta la nueva puesta en marcha de la instalación (al., 2001).

El análisis de fallas y mantenimiento ha llegado también a tecnologías energéticas en desarrollo, como la eólica (Lali, 1990). Si bien la escasez de datos es aún importante, ya se están estableciendo las herramientas que permiten conocer al detalle los problemas técnicos asociados a dicha tecnología y empezar a recopilar la información cualitativa y cuantitativa de instalaciones en operación, de gran utilidad futura.

En cuanto a los sistemas fotovoltaicos, la aplicación de este tipo de prácticas ha sido, y es en la actualidad, muy escasa. Los análisis de fiabilidad se han centrado fundamentalmente en las labores de dimensionado, donde se valora la disponibilidad energética del sistema mediante la llamada probabilidad de pérdida de carga, asociada básicamente a la radiación solar incidente y al consumo eléctrico previsto, en función del tamaño de la instalación (Lorenzo, 1992). Se encuentran, asimismo, revisiones críticas de los modelos existentes y apuntes sobre la aún escasa aplicación práctica de este tipo de métodos (Narvarte, 2000). En todos estos trabajos referidos los sistemas se caracterizan por sus condiciones iniciales nominales, sin considerar su evolución en operación real, la degradación y averías de sus componentes ni, por tanto, su influencia sobre dicha disponibilidad energética inicialmente estimada. Se pueden encontrar ciertos estudios que sí tienen en cuenta la indisponibilidad derivada de una falla del sistema. Alguno aporta una visión global, dando especial relevancia a los aspectos económicos

(A.B. Maish, 1997), mientras que otros abordan puntos específicos, como el estudio teórico del efecto de la falla de módulos en un generador en función de su configuración serie-paralelo (Kaushika, 2002) o del mantenimiento requerido, o bien el análisis del efecto de ciertas mejoras técnicas en el regulador de carga (Joshi, 1996). También se trata de forma básica la fiabilidad de sistemas híbridos eólico-fotovoltaico, en función del peso de cada una de las tecnologías en términos de energía generada. Asimismo, existen trabajos relativos al coste del ciclo de vida de los sistemas (M. Kolhe, 2002).

En el sector fotovoltaico no existen todavía estudios sistemáticos donde se conjuguen los diversos factores que causan una falta de suministro eléctrico, bien por déficit de energía, bien por rotura de un elemento del sistema. Son aspectos tales como la identificación y análisis de los diversos modos de degradación y falla de las instalaciones fotovoltaicas y de sus componentes, el estudio de la indisponibilidad energética asociada al propio dimensionado, y las propias dificultades del mantenimiento de los sistemas autónomos. A lo largo del texto han surgido ya diversos aspectos de importancia en los sistemas energéticos: seguridad, fiabilidad, mantenimiento y disponibilidad en el suministro. Si bien son aspectos diferenciados, están, en la práctica, relacionados entre sí. Todos estos términos se pueden englobar en el concepto de confiabilidad (*dependability*, en inglés) que se emplea a lo largo del trabajo. Es un término general, no cuantificable por sí mismo, si bien sí son cuantificables los componentes de fiabilidad y tiempo de mantenimiento, que derivan en la disponibilidad del sistema.

En la literatura se utiliza en ocasiones el término fiabilidad para referirse a este conjunto de factores, como así hace Høyland (M. Kolhe, 2002) en un libro básico sobre teoría de fiabilidad de sistemas. Esto es debido a la preponderancia del estudio de fallas, por su origen como herramienta de análisis de accidentes, frente al menor peso del mantenimiento en determinados entornos (urbanos, concentrados o con recursos económicos, materiales y humanos suficientes). Sin embargo, aquí mantendremos la diferencia entre ambos términos, fiabilidad y confiabilidad, como forma de clarificar la importancia de cada uno de los factores que realmente influyen en la correcta operación de un sistema. En entornos descentralizados, la importancia del mantenimiento justifica esta separación de conceptos. Esta misma distinción se realiza en la norma IEC-60300-1 (IEEE, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis, 1997), dedicada al análisis de confiabilidad, tanto en sus aspectos conceptuales como en sus técnicas de aplicación. Existen normas similares, como ISO 9000-4 o el British Standard BS5760, en la misma línea.

En este capítulo se definen, en primer lugar, los conceptos básicos comúnmente empleados en este tipo de análisis: confiabilidad y sus componentes de fiabilidad, capacidad de mantenimiento, disponibilidad y seguridad. A continuación se describen las funciones y herramientas de cálculo de utilidad en el análisis de confiabilidad de instalaciones de generación eléctrica. Se emplean habitualmente funciones de valor medio para estimar de forma global los fallas y el tiempo de mantenimiento medio de los diversos elementos. Sin embargo, para análisis más detallados, es útil emplear funciones dependientes del tiempo donde se refleje la evolución del sistema o de un determinado componente. Se presentan, a su vez, las funciones de distribución de mayor aplicación práctica, conjugando un tratamiento sencillo con una representación acorde con la operación real de componentes y sistemas. Las funciones de distribución más utilizadas son la exponencial y la de Weibull (de una y varias etapas).

## **2.3 TEORÍAS**

### **2.3.1 Demanda.-**

(Philip Kotler, Dionicio Camara, Idelfonso Grande, Ignacio Cruz, 2000) Indican que la demanda es la cantidad de bienes y/o servicios que los compradores o consumidores están dispuestos a adquirir para satisfacer sus necesidades o deseos, quienes además, tienen la capacidad de pago para realizar la transacción a un precio determinado y en un lugar establecido.

#### **2.3.1.1 Análisis estructural de la definición de demanda.**

La definición de demanda revela un conjunto de partes que la conforman. Son las siguientes:<sup>2</sup>

- 1. Cantidad de bienes o servicios:** se refiere a un cierto número de unidades que los compradores estarían dispuestos a comprar o que ya han sido adquiridas.
- 2. Compradores o consumidores:** son las personas, empresas u organizaciones que adquieren determinados productos para satisfacer sus necesidades o deseos.

---

<sup>2</sup> Philip Kotler, Dionicio Camara, Idelfonso Grande, Ignacio Cruz: TITULO Dirección de Marketing, CIUDAD LOS ANGELES; EDITORIAL EDICION MILENIO AÑO 2000

3. ***Necesidades y deseos:*** la necesidad humana es el estado en el que se siente la privación de algunos factores básicos (alimento, vestido, abrigo, seguridad, sentido de pertenencia, estimación). En cambio, los deseos consisten en anhelar los satisfactores específicos para éstas necesidades profundas (por ejemplo, una hamburguesa Mc Donalds para satisfacer la necesidad de alimento).
4. ***Disposición a adquirir el producto o servicio:*** Se refiere a la determinación que tiene el individuo, empresa u organización por satisfacer su necesidad o deseo.
5. ***Capacidad de pago:*** Es decir, que el individuo, empresa u organización tiene los medios necesarios para realizar la adquisición.
6. ***Precio dado:*** Es la expresión de valor expresado, por lo general, en términos monetarios que tienen los bienes y servicios.
7. ***Lugar establecido:*** Es el espacio, físico o virtual (como el internet) en el que los compradores están dispuestos a realizar la adquisición.

### **2.3.2 Mercado.-**

Conjunto de compradores reales y potenciales de un producto. Estos compradores comparten una necesidad o un deseo particular que puede satisfacerse mediante una relación de intercambio.<sup>3</sup>

### **2.3.3 Administración.**

Administración es el proceso mediante el cual se diseña y mantiene un ambiente en el que individuos que trabajan en grupos cumplen metas específicas de manera eficaz. Esta definición básica necesita ampliarse:<sup>4</sup>

1. Como gerentes, las personas realizan las funciones gerenciales de planear, organizar, integrar personal, dirigir y controlar.
2. La administración se aplica a cualquier tipo de organización.
3. También se adjudica a los gerentes de todos los niveles organizacionales.
4. La meta de todos los gerentes es la misma: crear valor agregado.

---

<sup>3</sup> PHILIP KOTLER, DIONICIO CAMARA, IDELFONSO GRANDE, IGNACIO CRUZ: TITULO DIRECCIÓN DE MARKETING, CIUDAD LOS ANGELES; EDITORIAL EDICION MILENIO AÑO 2000.

<sup>4</sup> HAROLD KOONTZ; MARK CANNICE; HEINZ WEIHRICH, TITULO ADMINISTRACIÓN UNA PERSPECTIVA GLOBAL Y EMPRESARIAL; MEXICO; AÑO 2012.

5. La administración se ocupa de la productividad, lo que supone efectividad y eficiencia, y la suma de los dos para lograr la eficacia.

2.3.3.1 **Organizar**, entonces, es esa parte de la administración que supone el establecimiento de una estructura intencional de funciones que las personas desempeñen en una organización; es intencional en el sentido de asegurarse que todas las tareas necesarias para lograr las metas se asignen, en el mejor de los casos, a las personas más aptas para realizarlas.

2.3.3.2 **Dirigir**, es influir en las personas para que contribuyan a las metas organizacional y de grupo; asimismo, tiene que ver sobre todo con el aspecto interpersonal de administrar. Todos los gerentes coinciden en que la mayoría de sus principales problemas surgen de las personas, sus deseos y actitudes, así como de su comportamiento individual y en grupo, y en que los gerentes efectivos también requieren ser líderes efectivos.

2.3.3.3 **Controlar** es medir y corregir el desempeño individual y organizacional para asegurar que los hechos se conformen a los planes. Incluye medir el desempeño respecto de las metas y los planes, mostrar dónde existen desviaciones de los estándares y ayudar a corregir las desviaciones. En suma, controlar facilita el cumplimiento de los planes. Aun cuando planear debe preceder al control, los planes no se logran solos, sino que guían a los gerentes en el uso de recursos para alcanzar metas específicas; entonces las actividades son examinadas para determinar si se conforman a los planes.

#### 2.3.4 Gestión.

Gestión es el proceso por el cual se obtiene o utiliza una variedad de recursos básicos para apoyar los objetivos de la organización.<sup>5</sup>

2.3.4.1 **Gestión de la calidad** Cuando se habla de calidad no es suficiente con ser bueno hoy, sino que hay que mejorar todos los días; productos y servicios que hace unos años satisfacían plenamente, ahora se ven

---

<sup>5</sup> HAROLD KOONTZ; MARK CANNICE; HEINZ WEIHRICH, TITULO ADMINISTRACIÓN UNA PERSPECTIVA GLOBAL Y EMPRESARIAL; MEXICO; AÑO 2012.

deficientes, o empresas que fueron líderes en el mercado, hoy han sido sobrepasadas por sus competidores y tienen dificultades para sobrevivir. El camino para poder continuar en el mercado es conseguir productos de calidad y a un precio competitivo de una manera continuada, y ello sólo es posible implantando un sistema de gestión de la calidad que haga énfasis en la mejora continua, con lo que se aumentará la eficiencia de los procesos, se reducirán los costes y mejorará el grado de satisfacción de los clientes. Esta gira en torno al concepto de cliente y su satisfacción, teniendo pleno conocimiento de sus necesidades y expectativas. En la actividad turística no solo consideramos al cliente como los visitantes, sino también a los empresarios, los proveedores y los residentes. El grado de satisfacción de los clientes es una primera medida de la calidad, imprecisa, evolutiva y subjetiva. Donde la ausencia de quejas no implica satisfacción. Se busca que el visitante tenga la intención de volver y recomendar. El gestionar las quejas es uno de los aspectos de la atención al cliente en la que más se falla.<sup>6</sup>

### **2.3.5 Calidad de servicio**

Define la calidad de servicio como un término que se ha establecido para determinar el nivel de excelencia que la empresa ha tomado para satisfacer a su clientela, siendo aquella que por sus expectativas y necesidades impone a la organización el nivel de calidad que debe alcanzar, mostrando su satisfacción al adquirir el producto.<sup>7</sup>

#### ***2.3.5.1 Dimensiones de la calidad de servicio.***

##### ***2.3.5.1.1 Expectativas del cliente.***

Según (VA Zeithaml, MJ Bitner, 2002) las expectativas del cliente vienen a ser “creencias relacionadas con la prestación del servicio que funcionan como estándares o puntos de referencias contra los cuales se juzga su desempeño”. Según lo antes mencionado por los autores las expectativas del usuario constituyen un elemento esencial a la hora de evaluar la calidad de servicio que prestan los establecimientos

---

<sup>6</sup> Sánchez, Juan Velasco; Gestión de la calidad: Mejora continua y sistemas de gestión. Teoría y práctica; Ciudad de Barcelona; Editorial Piramide; Año 2010

<sup>7</sup> Crosby, Philip; Libro; QUALITY IS FREE. THE ART OF MAKING QUALITY CERTAIN; Ciudad de Mexico; Editoria: McGRAW HILL BOOK COMPANY; 1997



de hospedaje, por cuanto, se debe conocer lo que requieren los usuarios antes de prestar el debido servicio, para luego conocer la percepción que obtienen del mismo una vez recibido.<sup>8</sup>

#### **2.3.5.1.2 Percepción del cliente**

Definen la percepción del cliente como “la sensación que experimenta un cliente después de recibir un producto o servicio. Esta percepción se forma cuando éste evalúa el paquete de beneficios que le ofrece la empresa, determina la relación costo/beneficio y decide si la sensación es buena”. Al tratarse de percepción del cliente, los japoneses la denominan subjetividad social" ya que consiste en la relación entre lo que en verdad es un producto/servicio y lo que representará en un contexto social determinado.<sup>9</sup>

Los aspectos que influyen según (K. Douglas Hoffman, John E. G. Bateson, 2002) sobre la persona que percibe son:

- 1) *Las necesidades y deseos*, es decir, la motivación de la persona la cual le hace percibir aquello que le proporcionaría satisfacción.
- 2) *Las expectativas*; se tiende a percibir lo que se espera, aquello que resulta más familiar.
- 3) *El estilo de cada persona para enfrentarse al ambiente que lo rodea*. Algunas personas perciben más un conjunto de detalles, no pudiendo recordar por separado algunas características específicas del objeto; otras en cambio reparan en tales detalles.
- 4) *La cultura en la que creció*, la cual entrena en cierto modo de percibir la realidad.

#### **2.3.5.1.3 Satisfacción del cliente**

En la actualidad, lograr la plena "satisfacción del cliente" es un requisito indispensable para ganarse un lugar en la "mente" de los clientes y por ende, en el mercado meta. Por ello, el objetivo de mantener «satisfecho a cada cliente» ha traspasado las fronteras del departamento de mercadotecnia para constituirse en uno

---

<sup>8</sup> VA Zeithaml, MJ Bitner ; Libro Marketing de servicios: integración del enfoque en el cliente en toda la empresa. Ciudad Reino Unido; Editorial McGraw Hill; Año 2002

<sup>9</sup> K. Douglas Hoffman, John E. G. Bateson; Libro Fundamentos de marketing de servicios: conceptos, estrategias y casos; Edición Thomson; Ciudad Ohio, Año 2002.

de los principales objetivos de todas las áreas funcionales (producción, finanzas, recursos humanos, etc.) de las empresas exitosas. Por ese motivo, resulta de vital importancia que tanto mercadólogos, como todas las personas que trabajan en una empresa u organización, conozcan cuáles son los beneficios de lograr la satisfacción del cliente, cómo definirla, cuáles son los niveles de satisfacción, cómo se forman las expectativas en los clientes y en qué consiste el rendimiento percibido, para que de esa manera, estén mejor capacitadas para coadyuvar activamente con todas las tareas que apuntan a lograr la tan anhelada satisfacción del cliente. Al respecto, (Philip Kotler, Dionicio Camara, Idelfonso Grande, Ignacio Cruz, 2000), define la satisfacción del cliente como "el nivel del estado de ánimo de una persona que resulta de comparar el rendimiento percibido de un producto o servicio con sus expectativas". Como se vio en la anterior definición, la satisfacción del cliente está conformada por tres elementos:<sup>10</sup>

***El rendimiento percibido:*** Se refiere al desempeño (en cuanto a la entrega de valor) que el cliente considera haber obtenido luego de adquirir un producto o servicio. Dicho de otro modo, es el "resultado" que el cliente "percibe" que obtuvo en el producto o servicio que adquirió.

El rendimiento percibido tiene las siguientes características:

- Se determina desde el punto de vista del cliente, no de la empresa.
- Se basa en los resultados que el cliente obtiene con el producto o servicio.
- Está basado en las percepciones del cliente, no necesariamente en la realidad.
- Sufre el impacto de las opiniones de otras personas que influyen en el cliente.

Depende del estado de ánimo del cliente y de sus razonamientos. Dada su complejidad, el "rendimiento percibido" puede ser determinado luego de una exhaustiva investigación que comienza y termina en el "cliente".<sup>11</sup>

***Las Expectativas:*** Las expectativas son las "esperanzas" que los clientes tienen por conseguir algo. Las expectativas de los clientes se producen por el efecto de una o más de estas cuatro situaciones:

---

<sup>10</sup> PHILIP KOTLER, DIONICIO CAMARA, IDELFONSO GRANDE, IGNACIO CRUZ: TÍTULO DIRECCIÓN DE MARKETING, CIUDAD LOS ANGELES; EDITORIAL EDICION MILENIO AÑO 2000.

<sup>11</sup> PHILIP KOTLER, DIONICIO CAMARA, IDELFONSO GRANDE, IGNACIO CRUZ: TÍTULO DIRECCIÓN DE MARKETING, CIUDAD LOS ANGELES; EDITORIAL EDICION MILENIO AÑO 2000.

- Promesas que hace la misma empresa acerca de los beneficios que brinda el producto o servicio.
- Experiencias de compras anteriores.
- Opiniones de amistades, familiares, conocidos y líderes de opinión (p.ej.: artistas).
- Promesas que ofrecen los competidores.

En la parte que depende de la empresa, ésta debe tener cuidado de establecer el nivel correcto de expectativas. Pues para (Philip Kotler, Dionicio Camara, Idelfonso Grande, Ignacio Cruz, 2000), “si las expectativas son demasiado bajas no se atraerán suficientes clientes; pero si son muy altas, los clientes se sentirán decepcionados luego de la compra”.

Un detalle muy interesante sobre este punto es que la disminución en los índices de satisfacción del cliente no siempre significa una disminución en la calidad de los productos o servicios; en muchos casos, es el resultado de un aumento en las expectativas del cliente situación que es atribuible a las actividades de mercadotecnia (en especial, de la publicidad y las ventas personales). En todo caso, es de vital importancia monitorear "regularmente" las "expectativas" de los clientes para determinar lo siguiente:

- a) Si están dentro de lo que la empresa puede proporcionarles,
- b) Si están a la par, por debajo o encima de las expectativas que genera la competencia,
- c) Si coinciden con lo que el cliente promedio espera, para animarse a comprar.

**Los niveles de satisfacción:** Luego de realizada la compra o adquisición de un producto o servicio, los clientes experimentan uno de éstos tres niveles de satisfacción:

- 1) *Insatisfacción:* Se produce cuando el desempeño percibido del producto no alcanza las expectativas del cliente.
- 2) *Satisfacción:* Se produce cuando el desempeño percibido del producto coincide con las expectativas del cliente.
- 3) *Complacencia:* Se produce cuando el desempeño percibido excede a las expectativas del cliente.

Dependiendo el nivel de satisfacción del cliente, se puede conocer el grado de lealtad hacia una marca o empresa, por ejemplo: Un cliente insatisfecho cambiará de marca o proveedor de forma inmediata (deslealtad condicionada por la misma empresa). Por su parte, el cliente satisfecho se mantendrá leal; pero, tan solo hasta que encuentre otro proveedor que tenga una oferta mejor (lealtad condicional). En cambio, el cliente complacido será leal a una marca o proveedor porque siente una afinidad emocional que supera ampliamente a una simple preferencia racional (lealtad incondicional).<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> PHILIP KOTLER, DIONICIO CAMARA, IDELFONSO GRANDE, IGNACIO CRUZ: TITULO DIRECCIÓN DE MARKETING, CIUDAD LOS ANGELES; EDITORIAL EDICION MILENIO AÑO 2000.

## **2.4 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.4.1 Sistemas Fotovoltaicos**

Conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierte en energía eléctrica.

#### **2.4.1.1 Partes de un Sistema Fotovoltaico**

- **Módulo solar (panel solar) fotovoltaico**

Componente encargado de transformar la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Están hechos principalmente por semiconductores (silicio) mono-cristalinos o poli-cristalinos.

- **Regulador de carga**

Este componente del sistema administra de forma eficiente la energía hacia las baterías prolongando su vida útil protegiendo el sistema de sobrecarga y sobre-descargas. Este componente es comercializado basado en su capacidad máxima de corriente a controlar (amperios).

- **Batería (acumulador)**

La energía eléctrica de los paneles, una vez regulada va a las baterías. Estas almacenan la electricidad para poder usala en otro momento, su comercialización es basada en la capacidad de almacenar energía y es medida en Amperios hora (Ah).

- **Inversor**

Este componente convierte la corriente continua y bajo voltaje (12v o 24v típicamente) proveniente de las baterías o controlador en corriente alterna, de forma simplificada se puede decir que transforma la corriente continua en un toma corriente convencional. Por lo general es comercializado basado en su potencia en Watts, la cuál es calculada como el voltaje por corriente ( $P=VI$ ). Corresponde a la demanda máxima de (potencia) de los equipos que se van a conectar. Se puede prescindir de este componente cuando los equipos a conectar puedan ser alimentados por corriente directa. Como es el caso de algunos tipos de iluminación, motores y equipos diseñados para trabajar con energía solar.

- **Soportes**

Este es un componente pasivo de los sistemas de energía solar. Encargado de mantener en su lugar los módulos fotovoltaicos y debe estar proyectado para soportar la intemperie de forma constante, expansiones térmicas durante mínimo 25 años.

Cada uno de los anteriores componentes de un sistema de energía solar usa diferentes tecnologías. Los cuales hacen a los sistemas más o menos robustos y brindan otro tipo de propiedades. El uso de cada uno de estos componentes y la tecnología a usar depende mucho de la necesidad. Que se busca cubrir y las limitantes técnicas. Es decir si se quiere un sistema portátil se deberá reducir peso en las baterías lo más conveniente puede ser usar baterías iones de litio. En casos de humedad muy alta se deben de usar controladores encapsulados con alto grado de protección al agua.

#### **2.4.1.2 Funcionamiento**

- Los paneles solares convierten la energía solar en corriente directa.
- A través de un regulador se controla la energía en exceso.
- La batería almacena toda la cantidad de corriente.
- El inversor convierte la corriente directa en corriente alterna compatible con cada casa.

#### **2.4.1.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos**

- **Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA/Off-Grid)**

Se emplean en lugares donde no se dispone de red eléctrica y por lo tanto no es posible conectarse a ella para el intercambio de electricidad.

- **Sistema Fotovoltaico Conectado a Red (SFCR/On-Grid)**

Se emplean en lugares donde se dispone de red eléctrica y por lo tanto es posible conectarse a ella para el intercambio de electricidad.

### **2.4.2 Radiación Solar**

#### **2.4.2.1 Definición**

Es la energía liberada por el sol, existen tres componentes de la radiación solar:

- Directa: Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.
- Difusa: Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.
- Albedo: Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

La suma de estas 3 radiaciones nos da la radiación global y la radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico.

### 2.4.2.2 Radiación Solar en el Perú

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, una desorbitada radiación que se debe a la posición del Perú situado en la franja tropical, donde los rayos del sol son mucho más intensos y que se eleva más en lo alto de la cordillera de los Andes donde se reduce el margen con la atmósfera. (AutoSolar , 2018) Por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Adicionalmente a ello la zona sur es donde más radiación se tiene a nivel del país como se puede ver en la siguiente Figura



Figura 1 Mapa de radiación solar en el Perú (Fuente: “Desarrollo de fuentes de energía renovable en el Perú . Instituto de Regulación y Finanzas” (Universidad ESAN)” )

### 2.4.3 Electrificación Rural

#### 2.4.3.1 Definición

Básicamente, el concepto de electrificación rural se refiere al suministro de electricidad a hogares o viviendas localizadas en áreas aisladas o remotas de un país (Niez & Samanta, 2015)

De acuerdo a Niez (2010), en cuanto a las regiones remotas o rurales que carecen de suministro de energía eléctrica, estas presentan, por lo general, características particulares:

- Ser razonablemente distantes de redes eléctricas nacionales o regionales (por ejemplo, las aldeas remotas de la Amazonía)
- Ser de difícil acceso (alejadas de los centros urbanos, con un terreno difícil debido a la presencia de ríos o de densa vegetación)
- Presentar condiciones climáticas adversas que hacen peligrosa la extensión de una red de energía
- Comprender a comunidades rurales muy dispersas
- Tener baja densidad poblacional y bajo nivel de educación y de ingresos
- Poseer baja densidad de carga, en general, durante las horas pico de la tarde
- Emplear sus escasos recursos financieros en la adquisición de fuentes de energía, o una cantidad desproporcionada de tiempo dedicado a recoger leña.

#### **2.4.3.2 Usos de la electricidad Rural**

En general, es posible clasificar el empleo de la electricidad rural en tres niveles (Urrunaga, Bonifaz, Aguirre, Aragón, & Jara, 2013)

##### **✓ Uso doméstico:**

La electricidad es utilizada para iluminar (y esto se logra a un costo inferior que el generado por fuentes alternativas de iluminación, como las lámparas a querosene); en televisión y radio; para cocinar, refrigerar y ventilar, etc. También puede ser utilizada para la lectura de ocio, revistas y periódicos de entretenimiento . La luz de seguridad proporciona protección y permite la elaboración de artesanías, aumentando la productividad, especialmente entre las mujeres. La iluminación de espacios aumenta la productividad, ya que algunas actividades se podrían hacer en la noche, incrementando el número de horas de trabajo; a través del audio y video, permite el acceso a información, y también aumenta el conocimiento sobre salud e higiene, en especial entre las mujeres. Adicionalmente, el uso de estufas eléctricas para cocinar sustituye el uso de leña; por lo tanto, permite mejorar la calidad del aire en interiores. También acelera la preparación de alimentos y, por lo tanto, permite extender las horas de trabajo. La



conservación de alimentos reduce el tiempo de preparación de estos, entonces permite extender las horas de trabajo .

✓ **Uso de las comunidades**

El alumbrado público brinda mayor protección (lo que reduce potenciales robos o asaltos en la noche) Asimismo, la productividad de los profesores mejora a través de la enseñanza al emplear equipos multimedia, la tasa de ausentismo se reduce y se ofrecen clases nocturnas con mejores espacios iluminados. La productividad del personal médico mejora con el uso de equipos médicos electrónicos y mejor iluminación de los ambientes o espacios.

✓ **Uso productivo**

El uso de la electricidad puede generar beneficios indirectos, como la expansión de la gama de productos en las tiendas existentes para incluir la venta de bombillas, cableado eléctrico, cubos de hielo, etc. Algunos estudios evidencian el crecimiento significativo de actividades de pequeña escala, tales como la fabricación de acero, la horticultura, la ganadería lechera y la cría de cerdos con el uso de la electricidad.

### **2.4.3.3 Beneficios de la Electrificación Rural**

De acuerdo a los diferentes usos que puede tener la electricidad (a nivel de hogar, comunidad o empresarial rurales), es posible clasificar los beneficios de la misma en tres grandes áreas (Urrunaga, Bonifaz, Aguirre, Aragón, & Jara, 2013):

✓ **En lo social**

Los impactos incluyen beneficios en la salud (reduciendo la incidencia de enfermedades respiratorias y otros riesgos para la salud, asociados con el uso de combustibles sólidos y leña), en la educación (generando un impacto positivo en los resultados educativos, a través del mayor tiempo de estudio en el hogar debido a una mejor iluminación, lo que resulta en una mejora del rendimiento escolar), en lo doméstico (contando con mejor iluminación, mayor tiempo de televisión y radio, utilización de aparatos eléctricos – refrigeradoras, ventiladores, etc.–), en la fertilidad (no solo por acceso a mayor información en el tema a través de medios, sino porque la electricidad reduce la frecuencia coital frente a alternativas como la televisión y en el acceso a mejores bienes públicos (mayor seguridad, producto de la mayor y mejor iluminación pública).

✓ **En lo económico**

Se prevé que debido a la mejora de las oportunidades de generación de ingresos (los negocios comerciales están en operación por mayor tiempo) y el menor uso de leña y querosene, el acceso a la electricidad permite ingresos familiares más altos (aumenta la productividad de las actividades agrícolas y no agrícolas) y menores gastos en energía (menos uso de velas, lámparas, baterías, etc.).

✓ **En lo ambiental**

La electrificación rural permite un menor consumo de combustible (por ejemplo, menos leña), mejorando con ello la calidad del aire y reduciendo la deforestación y la contaminación. Ciertamente, la magnitud de los beneficios mencionados dependerá del tipo de tecnología específica de energía que sea considerado para la electrificación rural, y del tamaño de la zona, comunidad o vivienda que se beneficie del proceso. Niez (2010) explica que otras variables que hay que tener en consideración para definir la tecnología son las necesidades de los beneficiarios, la magnitud de densidad de carga necesaria, la distancia con respecto a la red nacional o regional, el paisaje, la disponibilidad de recursos naturales (como el viento, el sol, el agua y los bosques), los aspectos económicos y financieros, y la disponibilidad y capacidad técnica de la propia tecnología elegida

#### **2.4.4 Marco Normativo y Legal**

- Norma DGE: Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus componentes para Electrificación Rural.
- Resolución Directoral N° 203-2015-MEM-DGE
- SAE JA –1011-1999: Criterios de Evaluación para procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- SAE JA – 1012 – 2002: Guía para la norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- ISO – 1422-2016: Industrias del Petróleo y del gas natural – Recolección e Intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipos.

## **CAPITULO III:**

### **DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO QUISPICANCHIS**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo da a conocer la descripción actual de l Sistema Eléctrico de la provincia de Quispicanchis, las características físicas del mismo como son líneas y sub estaciones de distribución, así como también las fuentes alternativas de suministro, analizar su configuración y su estado actual de operación tomando en cuenta los criterios como el cumplimiento de Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE), el cual indica que el sistema debe operar dentro de las tolerancias establecidas.

#### **3.2 SISTEMA ELÉCTRICO QUISPICANCHIS**

##### **3.2.1 Ubicación Del Sistema Eléctrico**

El sistema eléctrico en estudio, provincia de Quispicanchis, está ubicado en el área geográfica de coordenadas 13° 42' 0" S, 71° 38' 24" W y UTM 8483893 214448 19L. La provincia se emplaza sobre la cordillera de Vilcanota y la región altiplánica del sureste del Cusco, aunque también comprende la ceja de selva y selva baja en sus límites con la región Madre de Dios y el extremo noroeste de Puno, además la mayor parte de la provincia se encuentra suministrada desde la subestacion de Huaro en 22,9KV con el alimentador de media tension con el código HU04.

##### **✓ División política:**

La provincia tiene una extensión de 7 862,60 km<sup>2</sup> y se reparte en doce distritos:

- Andahuaylillas
- Camanti
- Ccarhuayo
- Ccatca
- Cusipata
- Huaro
- Lucre
- Marcapata
- Ocongate
- Oropesa
- Quiquijana
- Urcos

##### **✓ Límites:**

Por el Norte : Con las provincias de Calca y Paucartambo (Cusco) y el departamento de Madre de Dios. Por el Este : Con la provincia de Cusco y Acomayo. Por el Sur : Con la provincia de Canchis y el departamento de Puno, Por el Oeste: Con el departamento de Puno.

✓ **Demografía:**

Según el último censo desarrollado por el INEI, la provincia de Quispicanchi, tiene una población de 82,173 habitantes. 4.3.1. Estructura y Densidad Poblacional Según el Censo, la población de la Región Cusco fue de 1'171,403 habitantes y la provincia de Quispicanchi registró 82,173 habitantes que representa el 7.01% de la población regional.

Las principales vías de acceso con que cuenta son Terrestre: carretera interoceánica: km; Cusco puerto Maldonado y la pista Cusco – Juliaca.

### **3.2.2 Configuración Del Sistema Eléctrico De Quispicanchis.**

Electro Sur Este, es una empresa dedicada a la distribución de energía eléctrica en los departamentos de Cusco, Apurímac, Madre de Dios, la provincia de Sucre en la región de Ayacucho y la provincia de Cayarani en la región Arequipa., cuenta con el sistema eléctrico de distribución, alimentadas desde la subestación de Huaro Combapata conectadas con sus respectivas líneas a las sub estaciones de distribución que se hallan situadas en los diferentes distritos. El sistema eléctrico denominado Vilcanota 1 VALLE SAGRADO SUR está dentro de su área de concesión de la empresa Electro Sur Este S.A.A. el mismo que forma parte del SEIN.

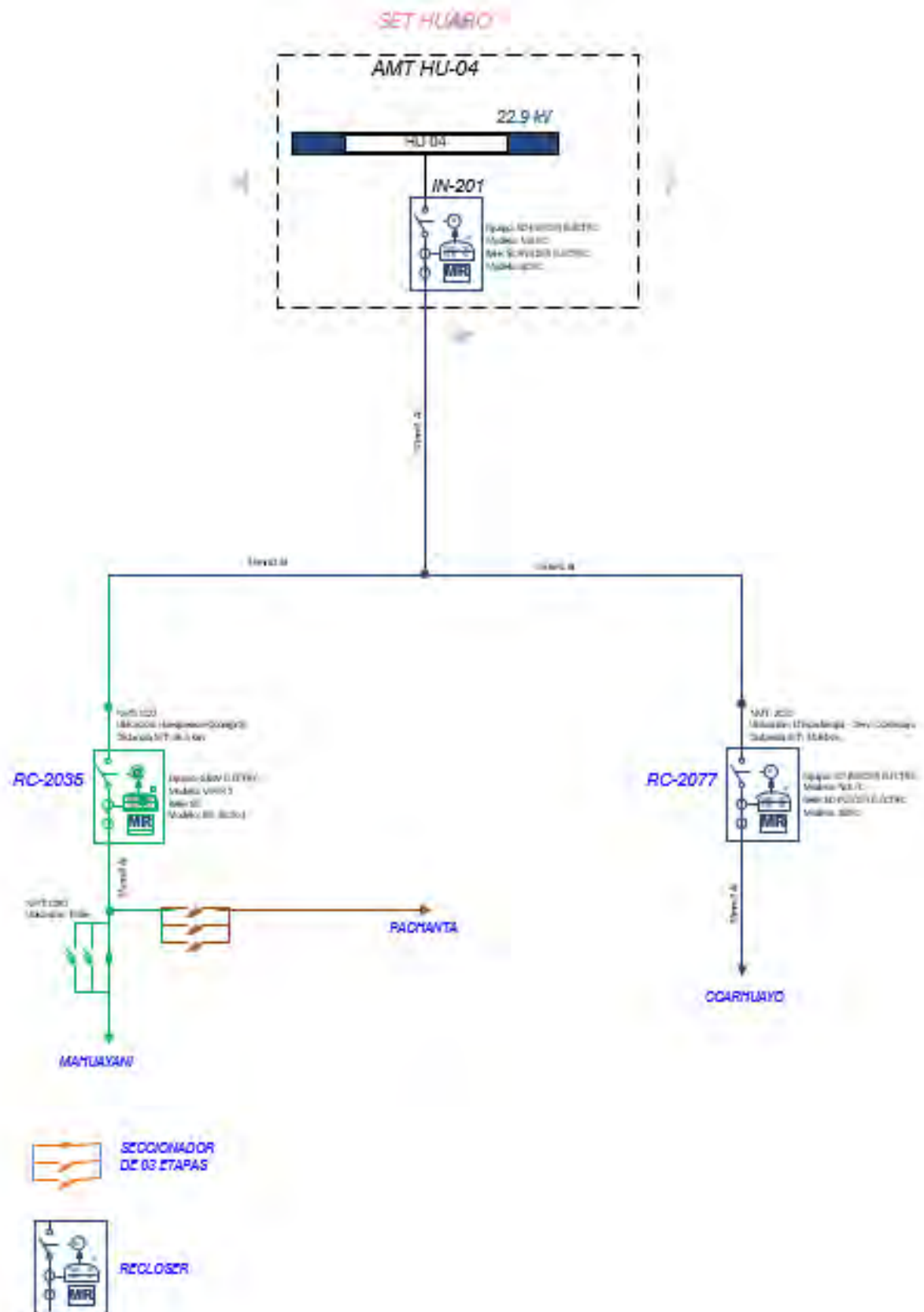


Figura 2 Diagrama Unifilar Quispicanchis (Fuente: Gobierno Regional Cusco)

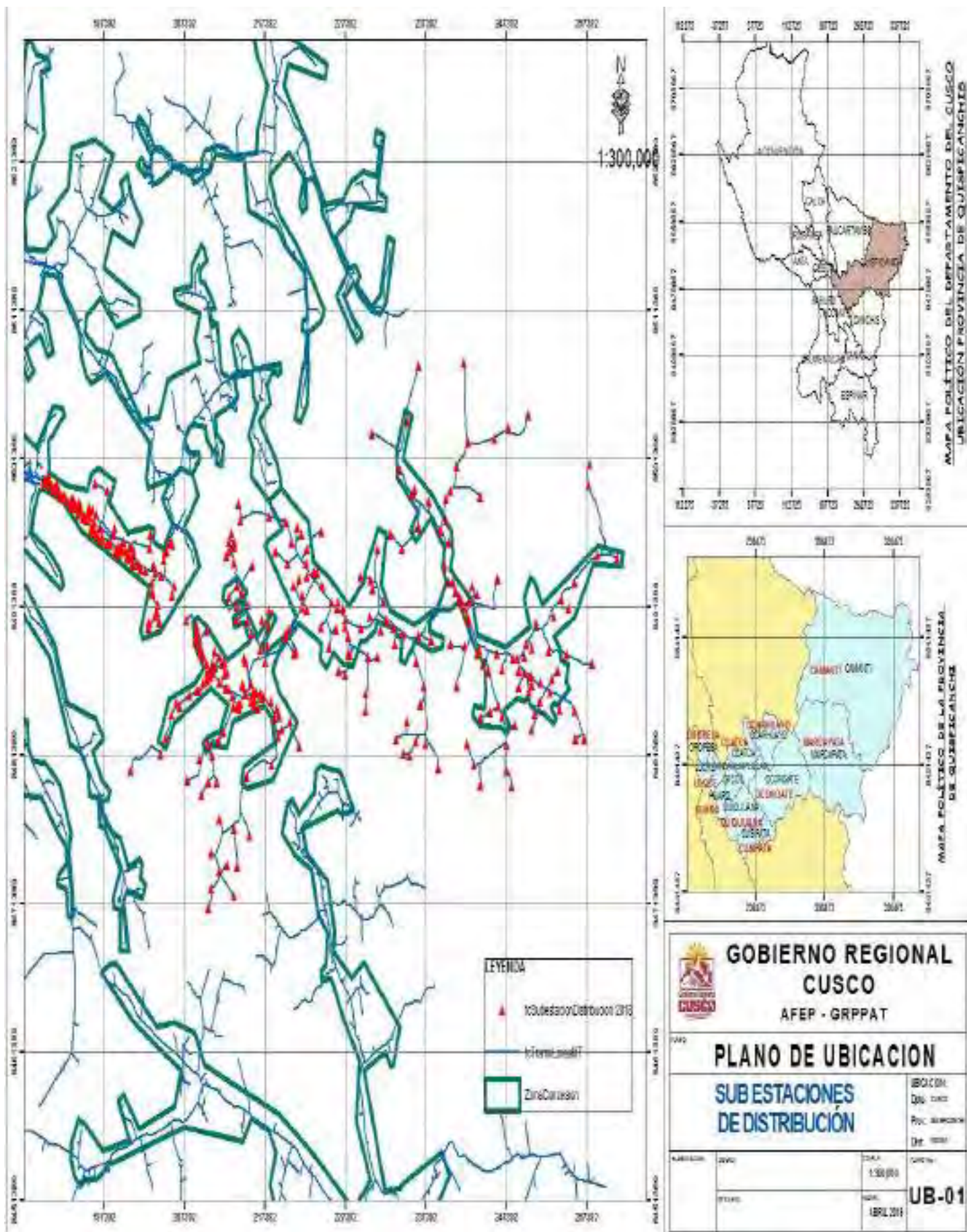


Figura 3 Sistema Eléctrico Quispicanchis (Fuente: Gobierno Regional Cusco)

### 3.2.2.1 Características Técnicas Del Sistema En Estudio

En el presente ítem es importante conocer las características técnicas, parámetros eléctricos en los que opera el sistema, ya que ayudará a tener un diagnóstico de la operación actual del sistema teniendo en cuenta la norma técnica de calidad de servicios eléctricos NTCSE.

### 3.2.2.2 Subestaciones Eléctricas Comprendidas En El Sistema Eléctrico.

Se presenta la descripción de las principales características de las subestaciones con la que cuenta el Sistema Eléctrico de Quispicanchis.

Tabla 1  
*Cientes por Distrito - Quispicanchis*

Distrito	CLIENTES
URCOS	3553
ANDAHUAYLILLAS	2125
CAMANTI	580
CARHUAYO	3461
CCATCA	10
CUSIPATA	1295
HUARO	1295
LUCRE	1467
MARCAPATA	382
OCONGATE	3612
OROPESA	3126
QUIQUIJANA	64
Total	20970

Datos (Fuente : ELSE)

De esta tabla podemos deducir que la densidad poblacional no necesariamente determina el número de clientes conectados al sistema, son varios los distritos que teniendo una considerable población tienen un número de clientes reducido, esto se debe a la dispersión de los mismos y a la lejanía de los puntos de alimentación que puede brindar el sistema y como consecuencia de ello la carencia del servicio de electricidad trae consigo la implementación de fuentes alternativas de suministro de energía como se verá más adelante.

Tabla 2  
*Distribución de sub estaciones por tipo de operación*

Distrito	N° SS.EE.	SE. PA	SE. PU
URCOS	44	13	31
ANDAHUAYLILLAS	38	13	25
CAMANTI	0	0	0
CARHUAYO	18	2	16
CCATCA	61	4	57
CUSIPATA	1	0	1
HUARO	30	4	26
LUCRE	21	9	12
MARCAPATA	12	3	9
OCONGATE	65	2	63
OROPESA	52	21	31
QUIQUIJANA	1	0	1
SUB TOTAL		71	272
TOTAL		343	

Datos (Fuente : ELSE)

SE PA : Sub estación de servicio particular

SE PU : Sub estación de servicio público

Como se puede observar en la tabla 7, se concluye que la gran mayoría de las sub estaciones atienden al servicio público y/o de instituciones ligadas con el que hacer cotidiano, mientras que la poca presencia de sub estaciones particulares o privadas nos indica que existe un bajo consumo ligado a la actividad industrial, o comercial de alto movimiento sumándose a ello la baja presencia de la actividad hotelera en la zona; este es un indicador que fácilmente esclarece cual es la actividad predominante en el sector.



Tabla 3

*Sub estación por el tipo de suministro*

Distrito	MONOFÁSICOS	TRIFÁSICOS
URCOS	17	27
ANDAHUAYLILLAS	8	30
CAMANTI	12	12
CARHUAYO	8	10
CCATCA	12	49
CUSIPATA	39	38
HUARO	18	12
LUCRE	6	15
MARCAPATA	9	3
OCONGATE	41	24
OROPESA	9	43
QUIQUIJANA	1	0
SUB TOTAL	180	163
	TOTAL	343

Datos (Fuente : ELSE)

La presencia de los transformadores monofásicos en las sub estaciones, nos indica que todavía la demanda no es muy grande ya que de los reportes de la empresa concesionaria podemos resumir que en todo el sistema de Quispicanchis solamente existen 02 transformadores de 460 KVA y existen una gran cantidad de pequeños transformadores de 10 KVA.

El sistema aún no está completamente uniformizado ya podemos observar niveles de tensión primaria como secundaria en una diversidad como se muestra a continuación:

- 22.9/0.44Kv
- 22.9/0.38Kv
- 22.9/0.22Kv
- 10.0/0.22Kv
- 10.5/0.22Kv
- 10.0/0.38Kv
- 10.0/0.44Kv
- 13.2/0.44Kv

Este aspecto dificulta las operaciones de mantenimiento ya que cada nivel de tensión requiere un equipo de reposición en particular.

### **3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS DE LA PROVINCIA DE QUISPICANCHIS.**

Se describen ahora las características y los problemas técnicos de las instalaciones fotovoltaicas autónomas de baja potencia con influencia sobre el suministro eléctrico final. El objetivo aquí es tanto exponer las condiciones de operación de este tipo de instalaciones y mostrar la situación real actual, con los componentes existentes en el mercado y los problemas derivados de su integración y de su operación en un entorno determinado.

#### **3.3.1 Sistema Fotovoltáico Instalado**

El sistema Fotovoltáico autónomo actualmente instalado en la provincia de Quispicanchis consta de :

- Modulo Fotovoltáico.- Panel de grupo de células Fotovoltáicas, que se encuentra en el exterior expuesto al sol.
- Regulador de carga.- Equipo electrónico de control y protección.
- Batería.- Acumulador de Energía.
- Caja de Conexiones.- Caja portafusible con borneras para la conexión de los diferentes circuitos
- Lámparas.- Equipo fluorescente compacto y accesorios de control y mando.

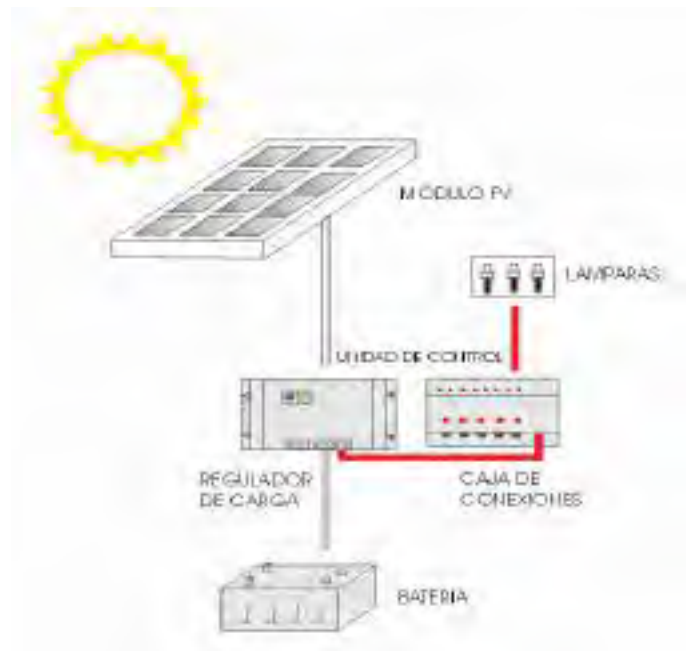


Figura 4 Sistema Fotovoltaico instalado en Quispicanchis (Fuente: TDR ELSE)

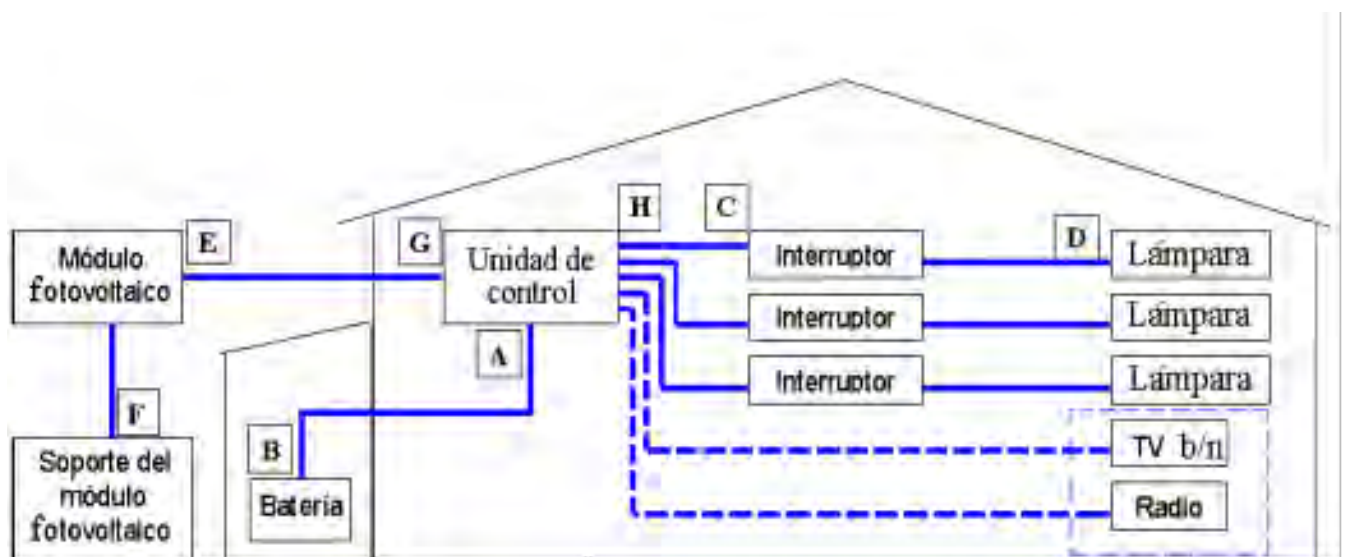


Figura 5 Esquema Ilustrativo de conexión (Fuente: TDR ELSE)

### 3.3.2 Situación actual de Sistemas Fotovoltaicos instalados

Dentro de la necesidad de brindar suministro de energía a los pobladores de localidades aisladas del Perú donde la electrificación convencional resulta técnica y económicamente inviable.

En la provincia de Quispicanchis se han instalado 1012 sistemas fotovoltaicos en 8 distritos en 95 centros poblados.

Tabla 4  
*Sistemas Fotovoltaicos instalados por Distrito*

Distrito	SFV Instalados
CAMANTI	183
CCATCA	30
CUSIPATA	292
HUARO	48
MARCAPATA	151
OCONGATE	27
QUIQUIJANA	274
URCOS	7
Total	1012

(Datos) Fuente: ELSE

### 3.4 CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - QUISPICANCHIS

La confiabilidad de las instalaciones fotovoltaicas de generación eléctrica, se desarrolla desde el punto de vista del suministro, la importancia de fallas en sus componentes, ya sean imprevistos o por envejecimiento, radica en el tiempo de parada que se produce hasta la nueva puesta en marcha. En este contexto, la falta de recursos económicos, una insuficiente formación técnica, las dificultades del transporte, la dispersión de las instalaciones o la indisponibilidad de repuestos pueden alargar el tiempo no operativo del sistema, o incluso convertir esta situación en permanente.

El primero de los objetivos de un análisis de confiabilidad consiste en determinar de forma precisa los puntos más delicados en la operación del sistema objeto de estudio. El análisis completo que se presenta pretende ser descriptivo, reflejando todas las etapas incluidas en la metodología básica.

Se conoce la escasez de información detallada sobre fallas en instalaciones o sobre tiempos y tareas de mantenimiento. En estas condiciones, las labores de análisis de confiabilidad se complican, si bien es una situación similar a la experimentada en sus inicios en otros sectores energéticos que, con los años, fueron prestando más atención a este tipo de iniciativas. Debido a la escasez de datos, el alcance del análisis es básicamente cualitativo. Resulta de interés, sin

embargo, analizar diversos escenarios reales y el efecto de determinadas diferencias técnicas en los elementos del sistema sobre la disponibilidad global de las instalaciones.

Este análisis se centra en instalaciones fotovoltaicas autónomas, sin conexión a red y sin ningún generador auxiliar.

### **3.4.1 Análisis De Fallas**

#### **3.4.1 Identificación de modos de falla e interrelaciones**

Una vez indicados los modos de operación del sistema y de sus componentes, el siguiente paso en el análisis de confiabilidad es la identificación precisa de todos los modos de falla que influyen sobre el funcionamiento de la instalación.

En primer lugar, se señalan los problemas asociados a cada elemento individual y derivados de su propio diseño, fabricación o instalación, luego, se indican los efectos más significativos de unos elementos sobre la confiabilidad de otros:

##### **3.4.1.1 En elementos del sistema fotovoltaico autónomo**

###### ***a) Generador fotovoltaico:***

- Potencia real inicial de módulos inferior a la nominal.
- Pérdida de potencia progresiva por envejecimiento.
- Generación inferior a la de diseño por sombreado.
- Rotura, falla súbita (especialmente por falla de cortocircuito del diodo de paso).

###### ***b) Batería:***

- Capacidad inicial baja.
- Pérdida de capacidad por envejecimiento progresiva.
- Falla súbita (agua no repuesta, rotura caja, cortocircuito entre terminales, cortocircuito interno por precipitación de material, etc.).

###### ***c) Regulador de carga:***

- Interrupción de circulación de corriente (línea de generación o de consumo).
- Autoconsumo y caídas de tensión excesivas.
- Regulación incorrecta de batería por mal ajuste en diseño inicial o por desajuste en operación.
- Ausencia de funciones de protección (no existencia, rotura, puenteo, etc.).

**d) Cableado:**

- Caídas de tensión excesivas.
- Cortocircuito.

**4.1.1.2 Dependencias entre elementos del sistema**

**a) Generador sobre batería:**

Si el módulo tiene una potencia inferior a su potencia nominal, por fabricación o por envejecimiento en operación, la energía de carga de la batería, y su estado de carga, disminuye en la misma proporción, bajo las mismas condiciones de radiación, consumo y temperatura.

**b) Regulador de carga sobre batería:**

Umbral de fin de carga: A mayor tensión de fin de carga, más garantías hay de haber realizado una recarga completa, si bien la corrosión se incrementa y el consumo de agua es mayor. Sin embargo, también disminuye el efecto de la estratificación del electrolito.

Umbral de desconexión del consumo (*LVD*): Este umbral marca la máxima profundidad de descarga de la batería durante su operación. Los fabricantes suministran información sobre el número de ciclos de vida de la batería en función de esta profundidad de descarga máxima. Cuanto menor es el umbral de desconexión del consumo, menor es el tiempo de vida previsto de la batería.

**3.4.2 Tratamiento y desarrollo de diagramas de falla**

Después de determinar los aspectos técnicos que, sobre el terreno, representan un mayor perjuicio para la operación correcta del sistema de generación fotovoltaica, el siguiente paso,

probablemente el más complejo, consiste en decidir el tratamiento de dichos aspectos para poder lograr los objetivos marcados en el análisis. Resulta complicado estimar la influencia real de las posibles fallas sobre la confiabilidad de cada elemento, especialmente en lo referente a la batería y su regulación de carga, ya que comúnmente aparecen solapadas las diversas causas de falla. A esto se une la escasez de datos específicos sobre confiabilidad en instalaciones en operación.

En este contexto, se plantean aquí dos niveles de análisis en cuanto al grado de subdivisión de los modos de falla del sistema, de utilidad según el detalle de la información disponible. En un primer nivel, más básico, se considera un modo de falla único para cada elemento, sin considerar el origen o punto concreto de dicha falla dentro del elemento. Tampoco se tienen en cuenta, en ese primer nivel, las dependencias entre elementos. En un segundo nivel, más avanzado, sí se consideran determinadas particularidades en la falla de los diferentes elementos.

**a) Nivel básico:**

La función de control del análisis es la falla en el suministro eléctrico, es decir, en la función básica del generador. Se asume como hipótesis que la falla de cualquiera de los elementos del sistema causa la interrupción de la función del sistema, lo cual se acerca bastante a la realidad, donde la influencia de cada elemento del sistema es crucial.

En estas condiciones, el sistema presenta una configuración serie con el diagrama de árbol de fallas de la Figura 16, donde se indica el parámetro de decisión, en cada elemento.

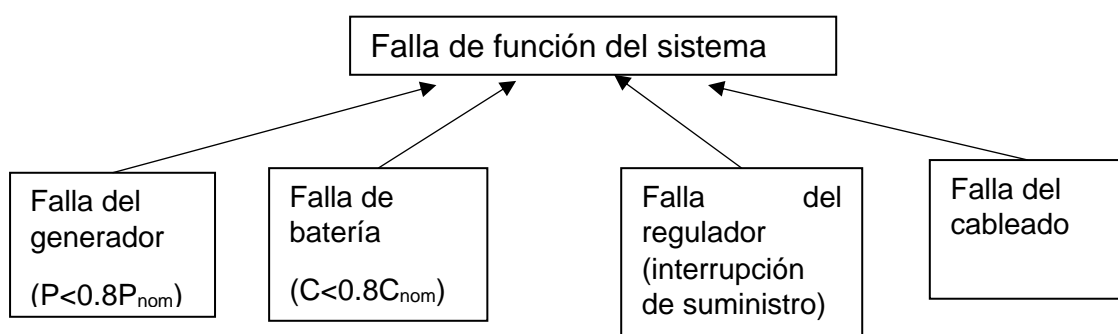


Figura 6 Fallas del sistema fotovoltaico (Fuente: Elaboración Propia)

Se puede observar que todos los componentes del diagrama de fallas están conectados en serie y un desperfecto en uno de ellos causa una falla general, esto ocasiona una falta de confiabilidad.

### **3.5 Análisis De Confiabilidad**

#### **3.5.1 Generalidades**

Una de las debilidades de la operación de los sistemas fotovoltaicos en electrificación rural es la deficiente sistematización de la data referente a fallas y mantenimiento, estas tareas en nuestro medio están encargadas a terceros los cuales prestan atención prioritaria a la instalación de nuevos equipos y al cobro del servicio.

En consecuencia, el origen y tratamiento de las fallas, así como la previsión de un óptimo funcionamiento son tareas muy relegadas, no se observa la relación entre los diferentes elementos del sistema; la sustitución de un componente en mal estado puede no ser solución para un mal funcionamiento, cuyo origen puede estar en otro punto.

#### **3.5.2 Datos disponibles actualmente**

En la literatura las referencias con datos sobre instalaciones reales en operación son escasas. Cuando estos datos existen, son, en general, dispersos e incompletos, sobre un número pequeño de instalaciones y con escasas referencias temporales sobre el momento de aparición de las fallas. Estos datos existentes se obtienen de evaluaciones realizadas un tiempo después de la puesta en marcha de los sistemas, años después, normalmente. De esta forma, se registra el buen o mal funcionamiento de la instalación en el momento de la visita y, como mucho, a través de encuestas a los clientes se logra conocer el número de veces que ha habido que cambiar cada elemento, pero no cuándo se han producido las fallas ni qué tiempo de espera requirió la reparación. Es difícil, en este contexto, estimar la evolución temporal de la confiabilidad de los diferentes componentes o del sistema en su conjunto.



Se presentan a continuación los datos encontrados referidos a la confiabilidad de los diferentes elementos del sistema, así como las informaciones reales o previsiones sobre tiempos y tareas de mantenimiento.

### **3.5.2.1 Confiabilidad**

#### **a) Generador fotovoltaico:**

La disponibilidad de datos reales sobre el comportamiento de los módulos fotovoltaicos en operación es, aunque escasa, claramente mayor a la del resto de elementos del sistema. Sin embargo, la indefinición sobre los datos necesarios y la falta de aplicación de análisis de confiabilidad sistemáticos conduce a una gran dispersión en la información accesible, se proponen cuatro parámetros para el estudio del comportamiento a largo plazo de los módulos fotovoltaicos: tasa de falla (*MTBF*), potencia inicial, pérdida de potencia por envejecimiento y tasa de avería.

#### **- Tasa de fallas (*MTBF*):**

Se pueden encontrar algunos datos especificados según los parámetros empleados en análisis de confiabilidad, como tasa de fallas en módulos y valores de tiempos medios entre fallas (*MTBF*). Dichos parámetros se obtienen mediante cálculos realizados a partir del estudio de un número de instalaciones, después de años de operación. Son, sistemas conectados a la red eléctrica, si bien a efectos de la operación de los módulos los datos pueden considerarse extrapolables a otro tipo de aplicaciones. Las tasas de falla se asumen constantes en el tiempo muchas veces se toman valores de *MTBF* equivalente a 10 años los que se confunden con la vida útil del equipo, siendo en realidad que la ocurrencia de fallas es del 10% de los módulos instalados.

Tabla 5  
*Fallas en módulos fotovoltaicos*

Nº fallas/año	<i>MTBF</i> (años)
---------------	--------------------

1 cada 552 módulos	552
1,5 cada 10.000 módulos	6.666
2 cada 10.000 módulos	5

(Datos) Fuente: (OREDA)

- **Potencia inicial:**

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la relación existente entre la potencia nominal ( $P_{nom}$ ) y la potencia real ( $P_o$ ) con la que inicia su operación un módulo

Tabla 6  
*Relación entre Potencia inicial y nominal*

Tipo de módulo	$P_0-P_{nom}/P_{nom}$ (%)
c-Si	5 a 10
c-Si c-Si c-Si	2 a 7
c-Si c-Si c-Si	5 a 6

(Datos) Fuente: (OREDA)

- **Pérdidas por envejecimiento.**

Se asume una tendencia decreciente para este aspecto con referencia a la potencia nominal durante su vida útil.

Tabla 7  
*Pérdidas por envejecimiento*

Tipo de módulo	$\Delta P$ (%)/año
c-Si	1-3
a-Si	2-3
a-Si	2-3

(Datos) Fuente: (OREDA)

- **Deterioro por avería.**

El deterioro por fractura o rotura de un módulo tiene valores bajos, pero para garantizar una vida útil mayor se deben prever algunos cuidados durante el transporte e instalación de los equipos.

Tabla 8  
Avería de equipos

Tipo	Años en operación	% módulos quebrados/año
c-Si	18	0,15
c-Si c-Si	10 - 14	0,4 - 0,2
c-Si	9	0
a-Si	2	10

(Datos) Fuente: (OREDA)

**b) Batería.**

A la operación de las baterías en sistemas fotovoltaicos se les atribuye frecuentemente las deficiencias en la operación de los sistemas fotovoltaicos.

- **Tiempo de operación.**

En nuestra región no se cuenta con una data confiable del comportamiento de las baterías por esta razón se atribuye como un límite admisible de su capacidad el 80% de la nominal, para determinar su cambio hecho que no se pone en práctica en las instalaciones de la zona y en muchos casos son utilizadas hasta que entreguen un mínimo de energía.

Tabla 9  
Tiempo de operación de baterías

Tipo de batería	Tiempo en operación
Solar modificada	4 años
SLI arranque	3 años 6 meses
SLI arranque	2-3 años
SLI arranque	2 años 6 meses
SLI arranque	6-9 años
SLI arranque	2 años 5 meses

(Datos) Fuente: (OREDA)

La probabilidad de fallas en las baterías es del orden del 20%.

- **Capacidad inicial real.**

Las baterías en muchos casos al iniciar su operación no presentan una capacidad igual a la nominal, pero este aspecto no se verifica en campo resultando en gran cantidad de casos que esta potencia inicial es mucho menor que la nominal.

Tabla 10  
*Tiempo de operación de baterías*

Tipo de batería	$C_0 - C_{nom} / C_{nom}$ (%)
VRLA	101
Solar modificada	98
SLI arranque	96
Tubular	91

(Datos) Fuente: (OREDA)

- ***Pérdida por envejecimiento.***

No se han realizado experiencias para determinar la real capacidad de operación de una batería luego de haber cumplido su vida útil, habitualmente se programa su mantenimiento cuando esta deja de operar.

Tabla 11  
*Régimen de envejecimiento de las baterías*

Tiempo en operación	% $C_{nom}$
< 3 años	50
3-5 años	47
5-7 años	18
6-8 años	16
6-9 años	3

(Datos) Fuente: (OREDA)

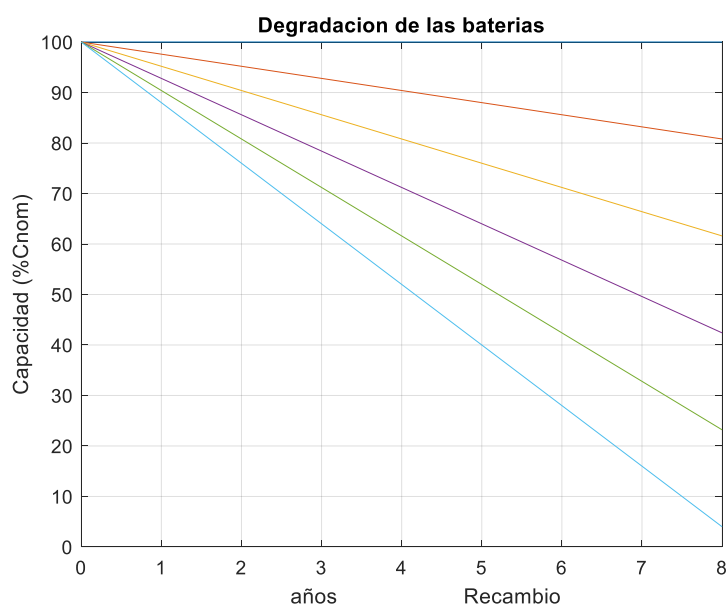


Figura 7 Régimen de envejecimiento de las baterías (Fuente: Elaboración propia)

- **Regulador.**

No es usual tener datos de averías en los reguladores, por lo común se asume que este tendrá una vida útil igual a la del sistema estimada en 10 años, cuando se observa una falla en el regulador se puentea la batería con la carga. Para reducir las tasas de falla en los reguladores los que implementan este tipo de proyectos sobredimensionan en corriente los equipos con la finalidad de eliminar las fallas.

Tabla 12  
*Fallas de los reguladores.*

Años de operación del sistema	% reguladores con falla	Incidencia
9	18 – 23	Sustitución Puenteo
Dato no especificado	43	Fallas técnicas diversos
3,5	8	Sustitución

(Datos) Fuente: (OREDA)

Tabla 13  
*Fallas de los reguladores.*

Descripción de las características implementadas en el regulador	Tasa de falla (% fallas/año)
Básico	14
Mejoras funcionales en regulación y protecciones del sistema	11
Diseño con componentes de elevada confiabilidad	6
Diseño con componentes sobredimensionados (Corriente y tensión nominal doble de las condiciones de trabajo)	1

(Datos) Fuente: (OREDA)

- **Cableado.**

No se ha reportado información en este rubro.

### 3.6 Modelado De La Confiabilidad Del Sistema.

Se realiza en primer lugar un modelado de la confiabilidad del sistema sin cuantificar los parámetros que lo definen, pero sí mostrando la posible tendencia de la aparición de averías para cada elemento. El estudio completo de la confiabilidad de un sistema, en términos absolutos, requiere una cantidad de datos de los que actualmente no se dispone, como ya se ha indicado; además, exigiría delimitar claramente el tipo de sistema y, sobre todo, el entorno de aplicación, reduciendo por tanto su alcance.

El segundo grado de modelado se refiere a la influencia sobre la confiabilidad de determinados aspectos diferenciadores de los sistemas fotovoltaicos: potencia inicial real y envejecimiento de módulos, capacidad real inicial, tipo y profundidad de descarga máxima de baterías y tipo de dispositivo de regulación en controladores de carga. Esto permite la comparación entre sistemas con condiciones de operación (radiación y consumo) y características técnicas iguales, excepto en los puntos concretos a analizar. La evaluación mediante estos modelos particulares no permite extraer, por tanto, valores absolutos de confiabilidad.

A continuación, se modela la fase de mantenimiento estableciendo un plazo máximo de reparación del sistema (establecido contractualmente, por ejemplo) pero sin considerar la evolución temporal intermedia debido a la falta de información disponible.

Finalmente, se modela la influencia de componentes reales en los sistemas fotovoltaicos sobre el dimensionado convencional, a través del efecto de la potencia real del módulo, de la capacidad de batería o de la capacidad realmente útil permitida por el regulador de carga.

### **3.6.1 Modelado de la confiabilidad**

A partir de los datos expuestos en la sección anterior y del conocimiento de los diferentes modos de falla de los sistemas fotovoltaicos, tomando en cuenta siempre los siguientes aspectos:

- Tasa de fallas (MTBF)
- Potencia inicial

- Pérdidas por envejecimiento
- Pérdidas por averías

Se proponen los siguientes modelos de confiabilidad, elemento por elemento:

### **3.6.1.1 Generador fotovoltaico**

El módulo fotovoltaico es habitualmente el elemento más fiable del sistema, con escaso número de fallas en comparación con el resto de elementos. Habitualmente se consideran las causas súbitas o accidentales (vandalismo, rayos o fallas propios aleatorios) como causas únicas de falla. En estas condiciones, la tasa de falla puede estimarse como una constante en el tiempo, es decir, independiente de la “historia” del módulo. Se puede modelar, entonces, el tiempo hasta la falla del generador,  $T_G$ , por una distribución exponencial con parámetro de escala  $\lambda_{G1}$ . Su tasa de falla, es:

$$Z_{G1}(t) = \lambda_{G1} \quad (4.1)$$

Sin embargo, puede ampliarse el tratamiento de la confiabilidad de los módulos al efecto de su potencia real y no sólo a la conservación de su estado físico general. La potencia real del módulo es un factor importante en un sistema, especialmente al considerar las diversas tecnologías actualmente presentes en el mercado fotovoltaico autónomo para la electrificación rural, con tasas de envejecimiento diferentes.

Para este estudio se considera falla de generador cuando la potencia pico es inferior al 80% de su potencia nominal. La pérdida de potencia por envejecimiento progresiva puede modelarse mediante una tasa de falla creciente, ya que cuanto más tiempo pasa, más probable es que un módulo alcance el 80% de su potencia nominal.

Desde este punto de vista, el tiempo hasta la falla,  $T_G$ , se puede expresar mediante una distribución de Weibull, con parámetro de escala  $\lambda_{G2}$  y parámetro de forma  $\alpha_{G2}=2$ , es decir, linealmente creciente. La tasa de falla es:

$$Z_{G2}(t) = (\sigma_{G2}\lambda_{G2})(\lambda_{G2}t)^{\alpha_{G2}-1} \quad (4.2)$$

Puesto que el efecto del envejecimiento de los módulos no modifica el riesgo de falla accidental, deben considerarse ambos tipos de fallas, imprevistos y por envejecimiento, de forma conjunta, la tasa de falla del generador,  $Z_G(t)$  es la suma de la tasa de falla asociada a cada uno de los factores:

$$Z_G(t) = Z_{G1}(t) + Z_{G2}(t) = \lambda_{G1} + (\sigma_{G2}\lambda_{G2})(\lambda_{G2}t)^{\alpha_{G2}-1} \quad (4.3)$$

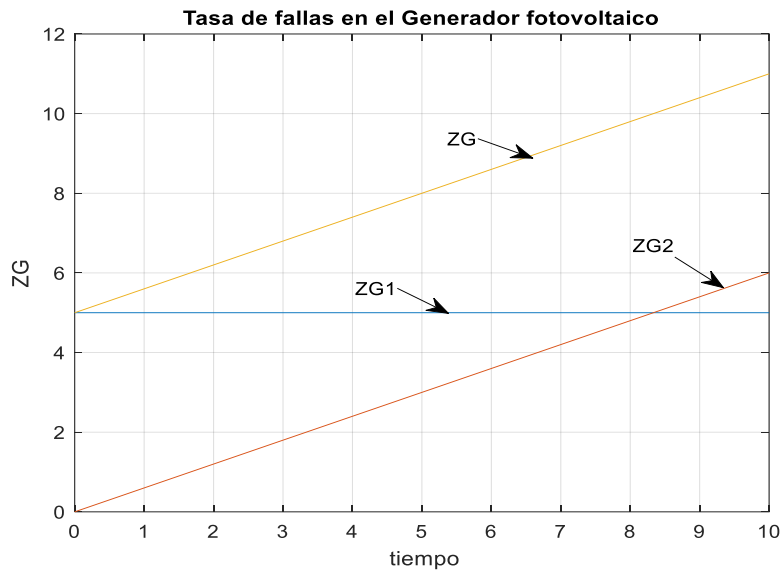


Figura 8 Tasa de súbita, por envejecimiento y conjunta (Fuente: Elaboración propia)

La confiabilidad  $R_G(t)$  se obtiene mediante el producto de la confiabilidad debida a cada uno de los factores, a partir de:

$$R_G(t) = R_{G1}(t) * R_{G2}(t) = e^{-(\lambda_{G1}t + (\lambda_{G2})^{\sigma_{G2}}t^{\alpha_{G2}})} \quad (4.4)$$

$$MTTF_G = \frac{1}{\lambda_G} \quad (4.5)$$



Adicionalmente se deben calcular dos aspectos la potencia real y la potencia de pérdidas cuando el equipo opera por encima del 80% de la potencia nominal, para ello se calcula en coeficiente  $k_G$ , el mismo que multiplicado por la tasa de falla  $Z_{G2}$  nos proporciona la tasa de falla cuando el equipo funciona por encima del 80% de su potencia nominal.

$$k_G = \frac{P_0 - P_{0,lim}}{p - p_{lim}} * \frac{\Delta p}{\Delta p_0} \quad (4.6)$$

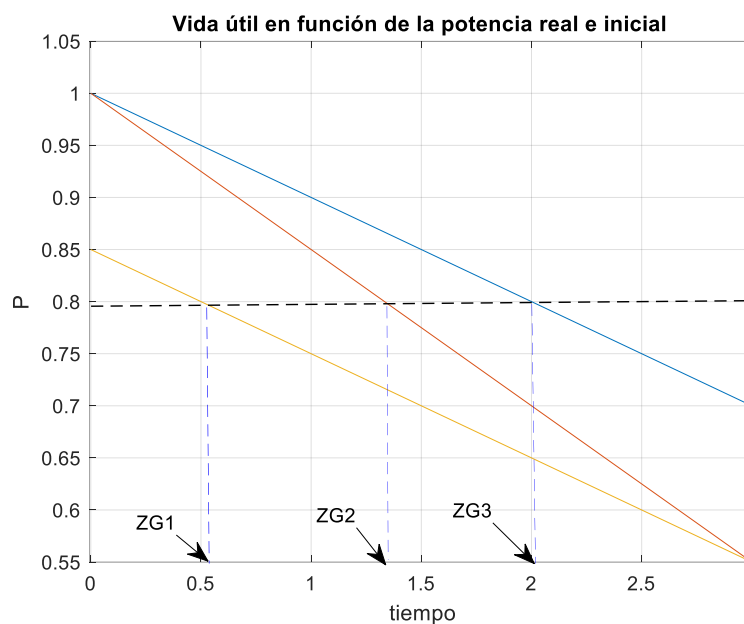


Figura 9 Vida útil del generador fotovoltaico (Fuente: Elaboración propia)

### 3.6.1.2 Batería

La influencia de las baterías sobre el funcionamiento a largo plazo de las instalaciones fotovoltaicas es crucial. Su tiempo de vida real presenta grandes diferencias en función de sus propias características de fabricación, pero, también, de las condiciones de funcionamiento que experimente sobre el terreno. En este sentido, si bien la batería puede fallar por causas aleatorias de muy diverso origen, en realidad predomina la pérdida de capacidad por envejecimiento con el tiempo de uso. Se plantea, en primer lugar, el caso de tasa de falla constante con el tiempo, es decir, de distribución exponencial, Sin embargo, se aconseja el empleo de un modelo con

distribución de Weibull de parámetro de escala  $\lambda_B$  y tasa de falla linealmente creciente ( $\sigma_B=2$ ), para representar más adecuadamente los efectos de pérdida de capacidad de batería. A partir de este factor se deriva el incremento del riesgo de falla con el tiempo transcurrido como se indica:

$$R_B(t) = e^{-(\lambda_B t)^{\alpha_B}} = e^{-(\lambda_B t)^2} \quad (4.7)$$

$$Z_B(t) = (\sigma_B \lambda_B) * (\lambda_B T)^{\sigma_B - 1} = (2\lambda_B) * (\lambda_B t) \quad (4.8)$$

$$MTTF_B = \frac{1}{\lambda_B} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha_B} + 1\right) = \frac{1}{\lambda_B} \Gamma\left(\frac{1}{2} + 1\right) = \frac{1}{\lambda_B} 0.886 \quad (4.9)$$

En la práctica la vida de la batería se extiende hasta que ya no suministre energía alguna, se establece aquí un límite del 50% como óptimo para el cambio de batería. Al igual que en el caso del módulo, al alcanzar este umbral no se produce la falla del sistema.

La tasa de falla de la batería es bastante superior a la del panel, como se extrae de los datos recopilados donde, en números genéricos, se señalan valores de 20 años de operación en módulos frente a 2 a 3 años en baterías. En general, las baterías de arranque (*SLI*) clásicas presentan tiempos de vida bastante menores que la batería tubular estacionaria, con una relación que podría estimarse de 1 a 3.

La relación entre la profundidad de descarga máxima a la que se somete a una batería y el número de ciclos de vida que soporta es una información habitualmente incluida en las especificaciones de los fabricantes. Son curvas exponenciales, como se muestra en la Figura 20. Si bien estos datos son el resultado de ensayos bajo condiciones muy específicas, sí son de utilidad en la comparación entre baterías similares sometidas a diferentes niveles de descarga.

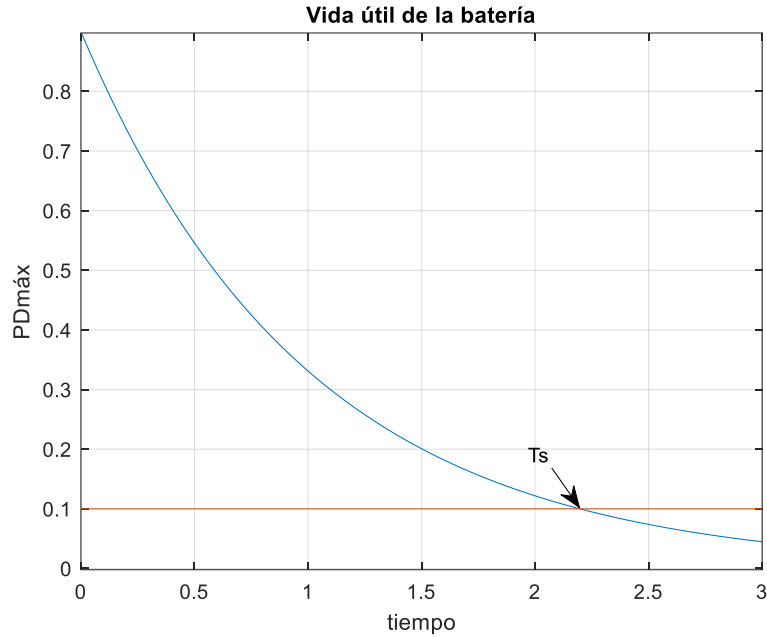


Figura 10 Tiempo de vida de la batería vs. profundidad de descarga (Fuente: Elaboración propia)

Puesto que la profundidad de descarga máxima es sólo uno de los múltiples factores que intervienen en la operación de una batería, no se realiza el análisis sobre tiempos de vida absolutos en operación, sino únicamente una comparación entre unas condiciones de referencia (subíndice o) y otras condiciones cualesquiera a estudiar (tipo de batería y profundidad de descarga máxima). Se supone que el resto de factores son comunes. Se establece un punto de referencia en el llamado *tiempo de servicio*,  $T_{so}$  de la batería de referencia.

A partir de los valores de referencia se define un factor de corrección de batería  $k_B$ , que representa la inversa de la relación entre el tiempo de vida de una batería cualquiera en condiciones reales de operación ( $T_s$ ).

$$k_B = \frac{c_0 - c_{0,lim}}{c - c_{lim}} * \frac{T_{so}}{T_s} * \frac{\ln(PD_{máx,s})}{\ln(PD_{máx})} \quad (4.10)$$

donde  $c_o$  y  $c$  representan la capacidad real inicial de la batería de referencia y de la batería a comparar, respectivamente, en tanto por uno respecto a la nominal. Los parámetros  $c_{lim}$  y  $c_{o,lim}$  se sitúan en el límite de 0,8 respecto al valor nominal. Esta batería tiene un tiempo de servicio  $T_s$  y estará sometida en operación a descargas de profundidad máxima  $PD_{máx}$ .

### 3.6.1.3 Regulador

La experiencia permite asumir que las averías que afectan al regulador tienen, en general, causas aleatorias, una vez que se ha realizado un control de calidad inicial para evitar un mal funcionamiento por causa común.

Se puede suponer, por tanto, que dentro del período vida útil prevista el tiempo hasta la falla del regulador,  $T_R$ , sigue una distribución exponencial, con tasa de falla constante  $\lambda_R$  de ahí se deduce que:

$$R_R(t) = e^{-\lambda_R t} \quad (4.11)$$

$$Z_R(t) = \lambda_R \quad (4.12)$$

$$MTTF_R = \frac{1}{\lambda_R} \quad (4.13)$$

Del análisis más avanzado se puede diferenciar entre las fallas que afectan a la línea de generador y a la línea de consumo, dentro del propio regulador. Las tasas de falla en ambos casos son similares, ya que se emplea el mismo tipo de componente interno y las corrientes y temperaturas no se diferencian de forma significativa.

### 3.6.1.4 Cableado

Si bien puede producirse un envejecimiento progresivo por temperatura o por la incidencia de radiación solar, las causas de falla más comunes son accidentales (cortocircuito, inversión de polaridad, etc.), una vez que se ha asegurado un grosor de cable adecuado para la corriente de operación. Se puede suponer, entonces, que el tiempo hasta la falla del cableado,  $T_C$ , una distribución exponencial, con tasa de falla  $\lambda_C$ .

### 3.6.1.5 Sistema

La confiabilidad del sistema,  $R(t)$  se obtiene mediante el producto de la confiabilidad de cada uno de sus componentes, ya que se ha supuesto que la falla de cualquiera de ellos causa la falla general:

$$R(t) = R_G(t) * R_B(t) * R_R(t) * R_C(t) \quad (4.14)$$

Mientras que la tasa de falla es la suma de las tasas de falla de cada uno de los elementos:

$$z(t) = z_G(t) + z_B(t) + z_R(t) + z_C(t) \quad (4.15)$$

Dando valores a  $t$  se obtiene la probabilidad de que el sistema no haya fallado durante su operación normal y la tasa de falla asociada en cada instante. Una vez terminada esta fase, y suponiendo que el sistema queda en perfectas condiciones, el modelo de confiabilidad del elemento en cuestión regresa a sus valores iniciales de confiabilidad y tasa de fallas.

### **3.7 Evaluación De La Confiabilidad En La Electrificación Rural**

Propuestos los modelos básicos de confiabilidad para sistemas fotovoltaicos autónomos, la siguiente fase del análisis consiste en su evaluación cualitativa y cuantitativa, a partir de los datos disponibles. Se ha mostrado cómo no existen datos de aplicación universal que puedan representar al conjunto de los sistemas fotovoltaicos autónomos para electrificación rural, sino que las diferencias tanto técnicas como locales son apreciables. Por estos motivos, se evalúa la disponibilidad en el suministro eléctrico a los clientes en diversos escenarios, con la siguiente secuencia:

Evaluación de la confiabilidad asociada a fallas, en dos escenarios diferentes, a partir de los modelos genéricos propuestos.

Comparación de aspectos técnicos particulares por su influencia sobre la tasa de fallas.

Evaluación conjunta de la disponibilidad del sistema.

#### **3.7.1 Evaluación de la confiabilidad relacionada con las fallas**

Con los datos disponibles sobre fallas y tiempo de vida de los diferentes elementos del sistema, junto al conocimiento sobre la evolución de cada uno de ellos, se propone el análisis concreto.

Se valora la influencia específica de cada componente, entendiendo la importancia de los

efectos de envejecimiento de módulos y de batería sobre la confiabilidad del conjunto, el escenario incluye los efectos temporales en módulos y baterías. En el caso de los módulos, debido a que su envejecimiento es lento, se mantienen tanto las fallas aleatorias como los causados por envejecimiento, en el caso de la batería se considera preponderante la falla por pérdida de capacidad sobre otro tipo de modos de falla.

Tabla 14

*Data para la evaluación de la confiabilidad referente a las fallas*

Equipo	Hipótesis (FD exponencial)	Parámetros
Generador	0,2% fallas/año	$\lambda_{G1}=0,002; \alpha_{G1}=1$
Batería	20% fallas/año	$\lambda_{B1}=0,200; \alpha_{B1}=1$
Regulador	5% fallas/año	$\lambda_{R1}=0,050; \alpha_{R1}=1$
Cableado	0,2% fallas/año	$\lambda_{C1}=0,002; \alpha_{C1}=1$

(Datos) Fuente: (OREDA)

#### - *Evaluación*

La tasa de falla del sistema se obtiene por suma de las correspondientes a cada uno de los elementos, ya que están en configuración serie. Al ser todos los modelos de tasa constante, el resultado es:

$$z(t) = \lambda_{G1} + \lambda_{B1} + \lambda_{R1} + \lambda_{C1} \quad (4.16)$$

$$z(t) = 0,002 + 0,2 + 0,05 + 0,002$$

$$z(t) = 0,254(\text{año}^{-1})$$

El siguiente cálculo a realizar es la obtención de la confiabilidad de cada elemento y del sistema en su conjunto a lo largo del tiempo. Se obtiene dando valores a la expresión característica de la distribución exponencial, con el parámetro  $\lambda$  correspondiente para cada caso expresado en la tabla 4.11.

$$R_G(t) = e^{-(\lambda_G t)}$$

$$R_B(t) = e^{-(\lambda_B t)}$$

$$R_R(t) = e^{-\lambda_R t}$$

$$R_C(t) = e^{-(\lambda_C t)}$$

$$R(t) = R_G(t) * R_B(t) * R_R(t) * R_C(t) \quad (4.17)$$

Los resultados son los siguientes:

Tabla 15  
Resultados

	R(6 meses)	R(1 año)	R(2 años)	R(5 años)	R(10 años)	R(20 años)
Generador	0.999	0.998002	0.996008	0.99005	0.980199	0.960789
Batería	0.904837	0.818731	0.67032	0.367879	0.135335	0.018316
Regulador	0.97531	0.951229	0.904837	0.778801	0.606531	0.367879
Cableado	0.999	0.998002	0.996008	0.99005	0.980199	0.960789
Sistema	0.880734	0.775692	0.601698	0.280832	0.078866	0.00622

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

Se puede observar que, al ser una configuración serie, la confiabilidad del conjunto depende del mal comportamiento de uno de sus elementos, en instalaciones fotovoltaicas la falla grave de cualquiera de los elementos causa una falla general del sistema. En la Figura 21 se muestra la incidencia de la batería sobre la confiabilidad total. La supervivencia del 36% de las baterías después de 5 años de uso es un dato muy positivo.

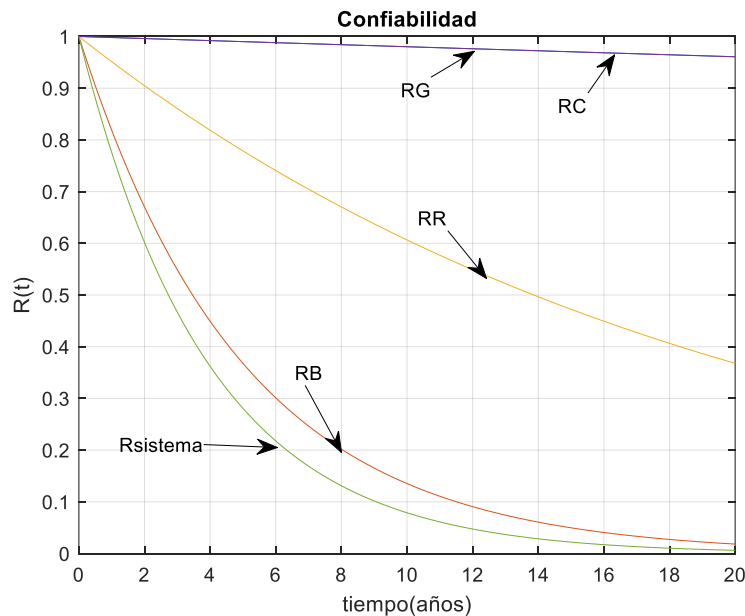


Figura 11 Gráfico de confiabilidad Generador (RG), Batería (RB), Regulador (RR), Cableado (RC) y Sistema.

(Fuente: Elaboración propia)



Cuando se asume una tasa de falla constante únicamente puede considerarse para representar la fase intermedia de la vida del elemento, la llamada vida útil.

Por otro lado, se debe calcular la tasa media del tiempo de falla (MTTF) en cada elemento.

$$MTTF_G = \frac{1}{\lambda_G} \quad (4.18)$$

$$MTTF_B = \frac{1}{\lambda_B} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha_B} + 1\right) \quad (4.19)$$

$$MTTF_R = \frac{1}{\lambda_R} \quad (4.20)$$

$$MTTF_C = \frac{1}{\lambda_C} \quad (4.21)$$

Tabla 16  
Resultado de la tasa media del tiempo de falla

	$\Lambda$	$\Sigma$	MTTF
Generador	0.002	1	500
Batería	0.2	2	4.43
Regulador	0.05	1	20
Cableado	0.002	1	500

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

### 3.7.2 Aspectos técnicos particulares.

Finalmente, para la evaluación de la confiabilidad se realizan varios estudios, que permiten la comparación entre equipos que presentan diferencias en aspectos técnicos específicos.

### 3.7.3 Potencia real del módulo fotovoltaico en su operación

La potencia inicial y el envejecimiento para las tecnologías de silicio cristalino y amorfo se muestran en la tabla 22, para los cuales se calcula el factor de ajuste  $k_G$ , para determinar la potencia real del módulo.

Tabla 17  
Valores reales de los generadores

$P_{lim} = 0.8$	Cristalino I	Cristalino II	Amorfo I	Amorfo II
P	1	0.9	1	1,1
$\Delta p$ (año <sup>-1</sup> )	0.005	0.01	0,03	0,03

$k_G$	1	4	6	4
-------	---	---	---	---

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

Los módulos de silicio monocristalino, con una potencia inicial del 90% de la nominal y un ritmo de pérdida de potencia por envejecimiento del 1% anual, valores acordes con datos recopilados sobre el terreno, presentan una tasa de falla por potencia (hasta alcanzar el 80% del valor nominal) 4 veces superior, pero con potencia igual a la nominal y envejecimiento inferior. En el caso de la tecnología de silicio amorfo, se observa el efecto de su mayor tasa de envejecimiento en la influencia de la estrategia de sobredimensionado de la potencia real sobre la nominal.

### 3.7.3.1 Capacidad real de la batería en su operación

Las baterías en aplicaciones fotovoltaicas para iluminación, donde el regulador de carga sí llega a limitar la descarga en determinadas épocas del año. La descarga media es de hasta el 60% para reducir el tamaño y coste de la batería, la vida esperada es 4,5 veces inferior. Para determinar la capacidad real de las baterías es preciso multiplicar la potencia nominal por el factor  $K_B$ .

Tabla 18

*Valores reales de las baterías*

$C_{\text{lím}} = 0.8$	Referencia (o)	Valor real
$T_s/T_{so}$	1	1
C	1	1
PD <sub>máx</sub>	0,1	0,6
$k_B$	1	4,5

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

Debe significarse, sin embargo, que este análisis sólo es válido si la batería alcanza de forma regular las condiciones de descarga máxima permitidas por el regulador, asimismo el envejecimiento de batería bajo estado de carga es sólo uno de los múltiples factores que determinan el tiempo de vida de las baterías.

### **3.8 Evaluación De La Confiabilidad En Quispicanchis en base a la Metodología RCM**

Actualmente en la provincia de Quispicanchis se encuentran instalados 1012 sistemas fotovoltaicos en 8 distritos diferentes como se mostró en la tabla 9 De acuerdo a la base de datos proporcionada por ELSE, se tiene los siguientes datos:

### 3.8.1 Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA)

Basado en la teoría presentada en el capítulo II donde se da a conocer este enfoque metodológico que viene a ser un proceso estructurado de identificación de las posibles fallas de un equipo antes que ocurran ( Primeros 4 pasos) se puede obtener la siguiente tabla:

Tabla 19

*Análisis de Modos y Efectos de Falla*

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
SISTEMA FOTOVOLTAICO	MÓDULO FOTOVOLTAICO	MÓDULO POLICRISTALINO DE 100 W Y 70 W	Transforma la radiación en energía eléctrica	No transforma la radiación en energía eléctrica	Posibles obstáculos que impidan una adecuada exposición al sol.	Efectuar una revisión visual y retirar los posibles obstáculos.	Realizar la limpieza del vidrio protector con un paño húmedo, evitando dañar el vidrio o ejercer excesiva presión sobre la superficie del mismo, así como verificar que el sellado se mantenga sin picaduras o que tengan filtrados de agua u otros. Con un cepillo metálico limpiar los contactos y bornes, eliminando suciedad y restos de óxidos.	PARO	Cepillo metálico, escalera y trapo limpio
					Desajuste de los pernos que unen el soporte al panel solar	Ajustar los pernos que unen el soporte al panel	Realizar ajuste de pernos		Juego de Herramientas conteniendo Desarmadores, Linterna,

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
					Mala orientación y grado de inclinación del panel solar	Revisar y corregir el grado de inclinación del panel solar	Corregir el grado de inclinación con respecto a la latitud en la que se encuentre instalado dicho sistema		Multímetro, alicates, llaves, etc.
					Inoperativo por rayo	Revisar el estado del panel solar y cambiar	En el tablero de control del controlador de carga, desconectar la línea de salida de las cargas eléctricas, desconectar la línea de llegada del módulo fotovoltaico, desconectar la línea de salida a la batería. En el módulo fotovoltaico, desconectar el cable de la bornera o recogerlo y fijarlo con cinta en el mismo modulo. Proceder a desmontar el equipo dañado (batería, regulador o panel). Proceder a montar el nuevo equipo, el mismo que debe tener como mínimo las mismas características del equipo retirado.		
					Robo	Reponer			

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
REGULADO	Regulador o Controlador	Proteger las baterías de	No protege	Rotura de panel por vandalismo	Revisar el estado del panel solar	Realizar talleres de capacitación y sensibilización.	Realizar el cambio de diodos.		Formatos y elementos de Merchandising.
				Diodos quemados por descarga atmosférica	Inspeccionar el estado de diodos y cambiar.	Realizar el cambio de diodos.			Juego de Herramientas conteniendo Desarmadores, Linterna, Multímetro, alicates, llaves, etc.
				Manipulación por parte del usuario	Revisar el estado del panel solar y capacitar al usuario	Revisar y corregir, realizar talleres de capacitación y sensibilización			Formatos y elementos de Merchandising.
				Suciedad en los contactos	Limpiar contactos	Desconectar todos los conductores y limpiarlos con un cepillo metálico, tanto los bornes de conexión como los terminales de los conductores. Reconectar y realizar el ajuste adecuado en los bornes (tener cuidado con la polaridad).		Cepillo metálico, Multímetro, desarmadores	

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
					Tornillos desajustados	Inspección visual y de ser necesario realizar el ajuste de tornillos	Ajustar los tornillos de los bornes con un desarmador adecuado, para una correcta conducción eléctrica.	PARO	Juego de Herramientas conteniendo Desarmadores, Linterna, Multímetro, alicates, llaves, etc. Formatos y elementos de Merchandising.
				Manipulación por parte del usuario	Revisar el estado del Regulador y capacitar al usuario	Revisar y corregir el Regulador de Carga, Capacitar al usuario			
				Controlador bloqueado	Desbloquear controlador				
				Fusibles defectuosos (Quemado)	Revisar estado de los fusibles	Si existiesen fusibles, verificar también el estado de los contactos, y si es necesario cambiarlos hágalo con uno de igual valor en tensión y amperaje para evitar daño a los equipos y una correcta protección eléctrica			

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
					Robo	Reponer	En el tablero de control del controlador de carga, desconectar la línea de salida de las cargas eléctricas, desconectar la línea de llegada del módulo fotovoltaico, desconectar la línea de salida a la batería. En el módulo fotovoltaico, desconectar el cable de la bornera o recogerlo y fijarlo con cinta en el mismo modulo. Proceder a desmontar el equipo dañado (batería, regulador o panel). Proceder a montar el nuevo equipo, el mismo que debe tener como mínimo las mismas características del equipo retirado.		
					Led inoperativo	Cambiar led	Realizar el cambio de led		
					Puerto Data y USB inoperativo	Reparación	Reparar puerto data y USB		
					Portafusible dañado	Cambiar portafusible	Cambiar portafusible		
					Cables flojos	Inspeccionar, reparar y ajustar	Inspeccionar y cambiar los cables defectuosos		
					Mala conexión en tablero	Corregir conexión	Corregir conexión en tablero		



SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS	
					Diodos quemados por descarga atmosférica	Inspeccionar el estado de diodos y cambiar.	Realizar el cambio de diodos.			
					Falta de Actualización	Actualizar	Actualizar			Software y laptop
					Suciedad en bornes	Revisar estado de bornes y limpiar	Limpiar los bornes con un cepillo metálico			PARO
	Desajuste de los bornes	Ajustar bornes	Realizar el ajuste de los bornes	Juego de Herramientas conteniendo Desarmadores, Linterna, Multímetro,						
	Robo	Reponer	Se aplica en los casos que se compruebe que la batería no logra recuperar su carga y no cumple su función de resguardo de carga. Con un voltímetro							

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
CABLEADO					Dañada por descarga atmosférica	Reparar o cambiar	realizar las mediciones a la salida de los bornes del panel fotovoltaico y a la salida del controlador. Se verifica si los equipos han sido manipulados o deteriorados por mal uso o negligencia del usuario. Se desconecta la batería y se vuelve a realizar las mediciones a la salida del panel FV, del controlador y de la batería. Si el voltaje en la batería es menor a 9 voltios, y la tensión en el panel es mayor a 14 V, observar que la batería no caliente sobre una temperatura anormal, o exista fuga de gases, si no ocurre esto último considerar que probablemente requiera un mantenimiento y recarga lenta. Retirar y reponer la batería.		alicates, llaves, etc. Formatos y elementos de Merchandising.
					Manipulación por parte del usuario	Revisar el estado del panel solar y capacitar al usuario	Revisar y reparar, realizar talleres de capacitación y sensibilización		
		Conducir corriente		No conduce	Cables flojos	Reparar y ajustar	Inspeccionar y cambiar los cables defectuosos	PARO	Juego de Herramientas conteniendo

SISTEMA	SUBSISTEMA	DENOMINACIÓN EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	TAREA PROPUESTA	PROCEDIMIENTO/INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	EQUIPO FUNCIONANDO / PARO	HERRAMIENTAS
					Cables cortados	Cambiar cables			Desarmadores, Linterna, Multímetro, alicates, llaves y cables para reparar, etc.
	ACCESORIOS	Lámpara, socket, interruptor y tomacorrientes	Conectar e interrumpir paso de la corriente eléctrica.	No conecta ni interrumpe paso de corriente eléctrica.	Luminaria Manipulada	Reparar y/o cambiar Capacitar al usuario	Revisar y corregir, realizar talleres de capacitación y sensibilización	PARO	Juego de Herramientas conteniendo Desarmadores, Linterna, Multímetro, alicates, llaves, etc. Formatos y elementos de Merchandising.
					Mala conexión en socket	Revisar y reparar	Corregir conexión		
					Lámpara inoperativa	Cambiar lámpara	Inspeccionar y cambiar accesorios defectuosos		
					Interruptor dañado	Cambiar interruptor			
					Tomacorrientes dañado	Cambiar tomacorrientes			

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

### 3.8.2 Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Basado en la teoría presentada en el capítulo II y las tablas 3 (Índice de clasificación de Ocurrencias, tabla 4 (Índice de clasificación de Gravedad), tabla 5 (Índice de clasificación de Detección) y con ayuda de la tabla 24 podemos elaborar la siguiente tabla:

Tabla 20  
Número de Prioridad de Riesgo

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALLAS	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO
			GRAVEDAD	OCURR	DETEC	NPR		
SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	MÓDULO FOTOVOLTAICO	Posibles obstáculos que impidan una adecuada exposición al sol.	3	8	8	192	Efectuar una revisión visual y retirar los posibles obstáculos.	Trimestral
		Desajuste de los pernos que unen el soporte al panel solar	7	1	5	35	Ajustar los pernos que unen el soporte al panel	Semestral
		Mala orientación y grado de inclinación del panel solar	9	1	9	81	Revisar y corregir el grado de inclinación del panel solar	Anual
		Inoperativo por descarga atmosférica	10	5	8	400	Revisar el estado del panel solar y cambiar	No aplica
		Rotura de panel por vandalismo	9	2	6	108	Revisar el estado del panel solar	No aplica

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALLAS	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO
			GRAVEDAD	OCURR	DETEC	NPR		
REGULADOR DE CARGA		Falla de diodos	9	5	8	360	Inspeccionar el estado de diodos y cambiar de ser necesario	Anual
		Robo	10	1	10	100	Reponer	No aplica
		Manipulación por parte del usuario	7	5	5	175	Revisar el estado del panel solar y capacitar al usuario	No aplica
		Tornillos desajustados	6	2	6	72	Inspección visual y de ser necesario realizar el ajuste de tornillos	Anual
		Suciedad en los contactos	5	2	7	70	Limpiar contactos	Semestral
		Manipulación por parte del usuario	7	5	5	175	Revisar el estado del Regulador y capacitar al usuario	No aplica
		Controlador bloqueado	10	2	5	100	Desbloquear controlador	Trimestral
		Fusibles defectuosos (Quemado)	10	5	5	250	Revisar estado de los fusibles	Trimestral
		Robo	10	1	10	100	Reponer	No aplica
		Led inoperativo	7	3	9	189	Cambiar led	Trimestral
		Puerto Data y USB inoperativo	9	5	6	270	Reparación	Trimestral
		Falta de Actualización	10	5	9	450	Actualizar	Semestral
		Portafusible dañado	8	2	6	96	Cambiar portafusible	Trimestral

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALLAS	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO
			GRAVEDAD	OCURR	DETEC	NPR		
		Cables flojos	8	3	6	144	Inspeccionar, reparar y ajustar	Semestral
		Mala conexión en tablero	8	1	9	72	Corregir conexión	Semestral
		Falla de diodos	8	5	9	360	Inspeccionar el estado de diodos y cambiar de ser necesario	Anual
	BATERÍAS	Suciedad en bornes	5	2	6	60	Revisar estado de bornes y limpiar	Semestral
		Desajuste de los bornes	7	2	6	84	Ajustar bornes	Semestral
		Robo	10	1	10	100	Reponer	No aplica
		Manipulación por parte del usuario	8	5	5	200	Revisar el estado del panel solar y capacitar al usuario	No aplica
		Daño por descarga atmosférica	10	5	5	250	Reparar o cambiar	No aplica
	CABLEADO	Cables flojos	8	3	8	192	Reparar y ajustar	Anual
		Cables cortados	10	3	8	240	Cambiar cables	No aplica

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALLAS	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO
			GRAVEDAD	OCURR	DETEC	NPR		
	ACCESORIOS	Luminaria Manipulada	8	5	6	240	Reparar y/o cambiar Capacitar al usuario	No aplica
		Mala conexión en socket	8	2	6	96	Revisar y reparar	Semestral
		Lámpara inoperativa	10	2	10	200	Cambiar lámpara	Cada 2 años
		Interruptor dañado	8	2	6	96	Cambiar interruptor	Anual
		Tomacorrientes dañado	8	2	6	96	Cambiar tomacorrientes	Anual

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

### 3.8.3 Plan de Mantenimiento

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 26 podemos realizar el plan de Mantenimiento.

Tabla 21  
Plan de mantenimiento

SISTEMA	SUB SISTEMA	FALLAS	TAREA PROPUESTA	MESES												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	MÓDULO FOTOVOLTAICO	Posibles obstáculos que impidan una adecuada exposición al sol.	Efectuar una revisión visual y retirar los posibles obstáculos.			X			X		X				X	
		Desajuste de los pernos que unen el soporte al panel solar	Ajustar los pernos que unen el soporte al panel					X							X	
		Mala orientación y grado de inclinación del panel solar	Revisar y corregir el grado de inclinación del panel solar	X												
		Falla de diodos	Inspeccionar el estado de diodos y cambiar de ser necesario	X												



SISTEMA	SUB SISTEMA	FALLAS	TAREA PROPUESTA	MESES													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
REGULADOR DE CARGA		Tornillos desajustados	Inspección visual y de ser necesario realizar el ajuste de tornillos	X													
		Suciedad en los contactos	Limpiar contactos						X								X
		Controlador bloqueado	Desbloquear controlador			X			X			X					X
		Fusibles defectuosos (Quemado)	Revisar estado de los fusibles			X			X			X					X
		Led inoperativo	Cambiar led			X			X			X					X
		Puerto Data y USB inoperativo	Reparación			X			X			X					X
		Falta de Actualización	Actualizar						X								X
		Portafusible dañado	Cambiar portafusible			X			X			X					X
		Cables flojos	Inspeccionar, reparar y ajustar						X								X
		Mala conexión en tablero	Corregir conexión						X								X
		Falla de diodos	Inspeccionar el estado de diodos y cambiar de ser necesario	X													

SISTEMA	SUB SISTEMA	FALLAS	TAREA PROPUESTA	MESES														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
	BATERÍAS	Suciedad en bornes	Revisar estado de bornes y limpiar							X							X	
		Desajuste de los bornes	Ajustar bornes							X								X
	CABLEADO	Cables flojos	Reparar y ajustar	X														
	ACCESORIOS	Mala conexión en socket	Revisar y reparar							X							X	
		Lámpara inoperativa	Cambiar lámpara	X														
		Interruptor dañado	Cambiar interruptor	X														
		Tomacorrientes dañado	Cambiar tomacorrientes	X														

(Datos) Fuente: (Elaboración Propia)

### 3.9 Definición de términos y variables para el análisis de confiabilidad

#### 3.9.1 Conceptos básicos

Como se ha mencionado en el apartado inicial, el conjunto de propiedades relacionadas con el funcionamiento correcto de un sistema se engloba bajo el concepto de confiabilidad. En la norma IEC 60300-1 (IEC-60300-1, 1993) se define confiabilidad como “el término colectivo empleado para describir un funcionamiento basado en la disponibilidad y los factores influyentes: fiabilidad y capacidad y apoyo al mantenimiento”. De esta definición se deduce un objetivo principal, la disponibilidad, entendida como el funcionamiento correcto del sistema cuando se requiere su uso. Para ello el sistema debe ser fiable y, a su vez, capaz de ser mantenido y reparado dedicando los medios adecuados. Es importante esta mención a la ayuda externa (recursos humanos y materiales) que se muestra en el concepto general de confiabilidad. En esta definición no se incluye explícitamente la

seguridad del sistema, si bien, como ya se ha indicado, es uno de los puntos clave, y origen del desarrollo y aplicación de la teoría de confiabilidad, especialmente en la tecnología aeronáutica y, dentro del sector energético, en la tecnología nuclear.

Se encuentran otras definiciones similares: en el estudio técnico E/CT-184 de Merlin Gerin, para su aplicación a redes eléctricas, se define confiabilidad como “el término genérico que combina las variables independientes de fiabilidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad”. En esta definición se indican simplemente los cuatro aspectos básicos incluidos en el concepto de confiabilidad, que a continuación se tratan con mayor detalle.

### **3.9.2 Términos**

#### **✓ Fiabilidad**

Se define la fiabilidad (reliability, en inglés) en los estándares IEC 60050(191)-1990 e ISO 8402-2000, como “la capacidad de un componente o sistema para desarrollar la función requerida, bajo determinadas condiciones ambientales y de operación, y por un tiempo determinado”. Resulta evidente la necesidad de establecer de forma precisa, y como primer paso, cuál es la función a desarrollar por el componente o sistema. Es esta función sobre la que se aplica posteriormente el análisis. Por otra parte, esta definición permite diferenciar la fiabilidad en la operación de un sistema de su evolución después de una falla, sin dejar de tratar ambos aspectos como integrantes de la confiabilidad.

Junto al concepto de fiabilidad, se emplea comúnmente el mismo término para la variable que expresa “la probabilidad de un objeto para desarrollar la función requerida bajo determinadas condiciones y durante un tiempo determinado”. En este trabajo, además del concepto general presentado, se emplea una función matemática de fiabilidad relacionada con la probabilidad de falla.

En sistemas de generación eléctrica el término fiabilidad se aplica a la función de suministro de energía bajo demanda, para su distribución a los puntos de consumo. De acuerdo con ello, pueden destacarse ya algunos factores que perjudican dicho suministro y que, por tanto, reducen su fiabilidad:

- Fuente de energía insuficiente
- Demanda energética excesiva
- Falla en la instalación

En el primer caso, un sistema sin averías capaz de operar normalmente, está impedido para generar la electricidad requerida por carecer de la fuente de energía en cantidad suficiente. En este punto aparecen diferencias importantes en función del tipo de tecnología de generación en cuestión. Así, la escasez de “combustible” no es habitualmente la causa de parada de una central nuclear, térmica o de gas, si bien bajo determinadas condiciones económicas o políticas podría producirse esta situación. Empieza a constituir un problema en el caso de las grandes centrales hidráulicas, de almacenamiento estacional, en las que no se produce una parada súbita e imprevista por falta de fuente de energía, pero sí se tiene en cuenta este hecho en la planificación anual e interanual de su operación. Sin embargo, es un factor clave en la utilización de las tecnologías minihidráulica, eólica o solar fotovoltaica, donde la disponibilidad inmediata de la fuente de energía (agua, viento o radiación solar) para satisfacer el consumo eléctrico demandado tiene una influencia práctica indiscutible.

El segundo factor mencionado, el exceso de demanda, presenta unas consecuencias similares a una fuente de energía insuficiente, ya que, en realidad, ambos conducen a un déficit en el suministro. En el caso de la red eléctrica convencional, existen datos históricos muy completos de perfiles de demanda a escala nacional. Son datos que se emplean, con modificaciones en tiempo “real”, para la planificación del nivel de generación de cada central del sistema eléctrico. Esto no evita que puedan existir picos de demanda imprevistos, por hechos puntuales (por una ola de frío o de calor no anunciada, o por un simple partido de fútbol) o estacionales (aumento de la demanda energética en zonas turísticas) que pongan en peligro la fiabilidad del suministro eléctrico, como ocurre en ocasiones. En el caso del suministro eléctrico descentralizado, como es el ofrecido por las instalaciones fotovoltaicas objeto de esta Tesis, se emplean sistemas de almacenamiento de energía limitados, y en ellos un exceso de demanda es un hecho muy grave que debe limitarse de forma estricta. En este tipo de aplicaciones la escasez de datos sobre consumo energético añade mayores dificultades a las tareas de diseño y planificación. Para paliar esta carencia se han realizado esfuerzos para estimar perfiles de consumo, a partir de datos reales, en iluminación y bombeo de agua, si bien su gran dependencia con las circunstancias locales complica la extrapolación a otros escenarios.

Junto a la influencia de la fuente y de la demanda de energía, factores que en cierta forma pueden considerarse “externos” al sistema, el tercer aspecto necesario para asegurar el funcionamiento de una instalación en un momento preciso es la ausencia de averías o disfunciones técnicas. En realidad, el comportamiento técnico de la instalación no es del

todo independiente de los factores externos, ya que los niveles de radiación y de consumo van a influir sobre la operación del sistema y el tiempo de vida de sus componentes, en especial de la batería. Para analizar la fiabilidad asociada a fallas en instalaciones fotovoltaicas para aplicaciones descentralizadas, dentro de un análisis global de confiabilidad de sistemas de generación eléctrica, se propone un sistema como el representado en la Figura 2, donde tanto la fuente de energía como el consumo se toman como factores externos al sistema. Esto facilita la comparación entre sistemas, supuesta su operación bajo las mismas condiciones externas.



Figura 12 Esquema global de funcionamiento de un generador eléctrico.(Fuente: M. Kolhe, 2002)

En un análisis de fiabilidad así definido, se consideran los posibles fallas en operación normal y ante accidentes, pero también la degradación de los componentes y, en general, su operación incorrecta. En realidad, la aparición de fallas evoluciona de forma diferente en función del tipo de componente incluido en cada tecnología de generación (elementos mecánicos, electrónicos, procesos químicos, etc.). Como etapa inicial del análisis resulta clave la identificación de todos los modos de falla del sistema.

### ✓ Capacidad de mantenimiento

Junto a una fiabilidad elevada, otro factor necesario para tratar de asegurar el suministro eléctrico previsto durante un tiempo prolongado, es la capacidad de mantenimiento y reposición del servicio después de una avería.

En teoría de confiabilidad se realiza la distinción entre sistemas no reparables y sistemas reparables, siendo su tratamiento bien diferente. Se define un sistema reparable como el que, después de producido una falla, recupera su función básica a través de la necesaria reparación o sustitución de alguno de sus componentes. En realidad, la práctica totalidad de los sistemas de generación son reparables bajo esta premisa, excepto pequeños sistemas como la pila electroquímica, donde es el conjunto del sistema, la propia pila, la que se sustituye por otra nueva al término de su vida útil. En esta Tesis se considera el conjunto de la instalación fotovoltaica como sistema y, por tanto, la sustitución de un componente

(módulo, batería, regulador, etc.) se trata como una reparación del sistema. Se entiende, entonces, la diferencia entre el estudio de un componente individual (reparable o no reparable) del estudio de un sistema formado por diversos componentes (reparable).

En el mismo estándar ya mencionado, IEC-60050 (IEC60050, 1990), se define la capacidad de mantenimiento (el término en inglés, maintainability, es utilizado comúnmente) como “la capacidad de un componente o sistema, bajo determinadas condiciones de uso, para ser mantenido en, o devuelto a, unas condiciones tales que pueda desarrollar su función, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y utilizando determinados procedimientos y recursos”. De esta definición se pueden extraer los dos tipos de tareas de mantenimiento realizables: preventivo y ante averías. Asimismo, también destaca la influencia de los recursos dedicados al mantenimiento a la hora de establecer realmente el tiempo de parada de un sistema. Este punto, que enlaza con el tema de la adecuación de una determinada tecnología al entorno de aplicación, es básico en aplicaciones fotovoltaicas descentralizadas.

Puede entenderse ya la importancia de realizar un análisis global de confiabilidad de sistemas de generación eléctrica, no centrado sólo en el potencial energético disponible ni tampoco en el análisis de fallas (IEC60050, 1990). En realidad, la aparición de fallas, además de por posibles problemas de seguridad y por el incremento del coste asociado a la rotura de material, se muestra especialmente perjudicial por la parada que imponen las tareas de reparación, entendidas de forma global, desde el momento de la falla hasta la nueva puesta en marcha de la instalación. Este tiempo de parada puede llegar a causar un perjuicio enorme, incluso definitivo, sobre el funcionamiento del sistema.

Después de una falla se suceden una serie de situaciones que pueden agruparse por orden temporal en:

- Percepción del falla y aviso al técnico
- Detección de la falla y su origen
- Adquisición de repuestos en caso necesario
- Reparación o sustitución de los componentes averiados y puesta en marcha de la instalación.

En este punto es importante aclarar que, si bien en el tratamiento de la fiabilidad se había independizado, en parte, el estudio de la fiabilidad interna del sistema de los factores externos, en el caso de la capacidad para el mantenimiento es conveniente su inclusión: un equipo sencillo puede ser de imposible reparación si no se dispone de una instrumentación básica. Así pues, la asignación de recursos como parte integrante del “sistema a analizar”

(IEC-60300-1, 1993), si bien añade subjetividad, resulta en este caso imprescindible como se puede concluir de las etapas indicadas. En la práctica, cada una de las fases señaladas pueden sufrir retardos en función de la propia disponibilidad de técnicos, de material, de las dificultades del transporte y, en general, del diseño del sistema y de la planificación de los mecanismos de mantenimiento. Se destacan diversos factores, relacionados entre sí, que determinan el mantenimiento de una instalación, con sus propias particularidades para cada tipo de tecnología y entorno de aplicación:

✓ **Complejidad técnica del sistema y sus componentes:**

Sin que tenga sentido comparar aquí la complejidad técnica de las diferentes tecnologías de generación eléctrica, sí cabe resaltar la influencia que un diseño más o menos complejo puede tener sobre el mantenimiento del sistema generador. El número y características técnicas de los elementos constitutivos del sistema influye en el mantenimiento y tiempo de parada después de una avería, si bien previamente también sobre el propio riesgo de falla. Ambos factores, fiabilidad y capacidad de mantenimiento, deben considerarse en las fases de diseño y selección de material: componentes de muy elevada calidad o de gran complejidad técnica, aunque ofrezcan una alta fiabilidad, pueden constituir un problema en caso de falla si su mantenimiento exige una muy alta especialización técnica o si incluyen componentes internos no disponibles en el mercado (IEC60050, 1990). Como muestra de las consecuencias de este hecho, se referencian tiempos de parada de entre 3 y 9 meses debido a la carencia de un servicio técnico adecuado. Son aspectos de una especial relevancia en el caso aquí tratado de la generación fotovoltaica autónoma.

✓ **Costo y disponibilidad de los equipos:**

Relacionado en parte con el punto anterior, la selección de los equipos debe realizarse teniendo en cuenta siempre la disponibilidad y coste de los repuestos necesarios para asegurar la sostenibilidad de una instalación. En un entorno rural descentralizado y en países en desarrollo, donde no existe un mercado tecnológico potente y donde los canales de distribución presentan dificultades, es este un factor clave. En este contexto, existe un prolongado debate entre la opción de seleccionar componentes fabricados en países tecnológicamente más desarrollados y, en principio, de mayor calidad técnica, o bien promover, en lo posible, el uso de componentes de fabricación local o nacional, o al menos de amplia distribución en dichos lugares. Este debate presenta, en realidad, dos vertientes, por un lado, la calidad técnica de los diversos equipos y, por otro, los propios intereses

económicos de los fabricantes. Desde el punto de vista técnico puede establecerse que en temas relacionados con la seguridad es prioritaria una muy elevada fiabilidad, aunque el tiempo de parada por mantenimiento fuera prolongado. Sin embargo, en fallas que únicamente derivan en una interrupción del servicio, el tiempo que se dedique a la nueva puesta en marcha es vital y la disponibilidad de repuestos debe estar garantizada (IEC-60300-1, 1993).

Una tercera alternativa, a medio plazo, consiste en favorecer en lo posible el desarrollo local (o a nivel regional o nacional) de equipos de calidad técnica suficiente con el apoyo de normativas y controles de calidad. Las ventajas de la descentralización en la producción eléctrica, que constituye uno de los puntos clave del desarrollo de la energía solar fotovoltaica, podría acompañarse así de una descentralización en la fabricación y distribución de equipos, una menor dependencia tecnológica del exterior y, sobre todo, una mayor garantía de sostenibilidad. Una elevada disponibilidad de equipos, un mejor conocimiento de sus características técnicas y una mejor adaptación de estas a los requisitos básicos de operación permitirían mejorar el comportamiento de las instalaciones a largo plazo.

✓ **Grado de dispersión y accesibilidad:**

Es este otro factor que diferencia a las diversas tecnologías de generación eléctrica, no por la propia tecnología, sino por su campo de aplicación real y por su volumen de negocio: el tamaño y número de instalaciones y la dispersión entre ellas. Las grandes centrales eléctricas no presentan problemas de accesibilidad alguno y son atendidas por técnicos dedicados por entero a ellas, pudiendo responder al momento. La adquisición de repuestos y su almacenaje está siempre mejor asegurada que en pequeñas instalaciones autónomas. Por el contrario, una elevada dispersión en las instalaciones, que es, por otra parte, uno de los factores de decisión en favor de la tecnología fotovoltaica frente a la extensión de la red eléctrica, constituye una gran dificultad en términos de mantenimiento. Los largos desplazamientos para atender pequeñas instalaciones, el incremento del coste asociado y la generalizada falta de recursos de este sector marcan los tiempos reales de mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas.

✓ **Planificación y asignación de recursos:**

En las grandes instalaciones de generación eléctrica, como centrales nucleares, térmicas o hidráulicas, la planificación del mantenimiento ha jugado siempre un papel importante en la asignación de recursos tanto económicos como técnicos y humanos. Por motivos de



seguridad, por su propia complejidad y por el elevado coste económico que implica una parada en la producción, se encuentran en el lugar de forma permanente equipos de mantenimiento especializados. Por el contrario, a la tecnología fotovoltaica desde el inicio se le asoció el cartel de “sin mantenimiento” (IEC-60300-1, 1993), en una idea promovida desde el propio sector para favorecer su expansión. Sin embargo, si bien es cierta la elevada autonomía y relativa sencillez de las instalaciones fotovoltaicas en comparación con otras tecnologías, también lo es que en entornos descentralizados un mantenimiento sencillo, tanto preventivo como por reparación de instalaciones, adquiere una importancia enorme y un coste nada despreciable. La experiencia acumulada ha ido dando cada vez más relevancia al mantenimiento, como uno de los factores básicos que determinan la operación de las instalaciones a largo plazo. En este sentido, deben proveerse los recursos necesarios para poder llevar a cabo dichas tareas, teniendo en cuenta la gran dependencia de los costes de mantenimiento con la propia fiabilidad de las instalaciones (a menor nº de fallas, menor coste del mantenimiento), de las características técnicas de los equipos y del propio entorno de aplicación (dispersión y accesibilidad).

Como es evidente, económicamente es imposible disponer de un técnico especializado junto a cada pequeña instalación fotovoltaica autónoma, sino que estos deben cubrir amplias zonas para atender a un número importante de sistemas. En la práctica resulta útil establecer diferentes niveles de mantenimiento, realizados por personas con una capacitación técnica diferente. Así se hizo en un proyecto de electrificación de viviendas con sistemas fotovoltaicos llevado a cabo en Bolivia desde 1988 hasta 1995 (Aguilera, 1995). Para sistemas de generación domésticos el propio usuario se encarga de realizar un mantenimiento básico (limpieza de módulos, llenado de batería con agua destilada o cambio de tubo fluorescente), existiendo después un técnico local para tareas algo más complejas. Finalmente, debe existir un técnico especializado cuya presencia no sea necesaria de forma muy frecuente. Debe planificarse, por tanto, una formación técnica acorde con las tareas a realizar.

Finalmente, se realiza aquí un apunte sobre el mantenimiento preventivo ya mencionado. Este tipo de mantenimiento se realiza de forma programada y periódica para tratar de evitar la aparición de fallas o, en su defecto, adelantarse a ellos y poder mitigar sus consecuencias con una mejor planificación de tareas, adquisición de repuestos, etc. En sistemas de generación de cierto tamaño la realización del mantenimiento preventivo implica habitualmente la parada de la producción eléctrica durante un cierto tiempo, si bien evita posteriores problemas más graves. Este tiempo repercute en la disponibilidad total de la

instalación. Por el contrario, en el caso de pequeños sistemas de generación y, más en concreto en instalaciones fotovoltaicas autónomas, las tareas de mantenimiento preventivo se realizan en tiempos breves.

### ✓ **Disponibilidad**

El objetivo final de un sistema de generación eléctrica es el cumplimiento de su función de suministro durante el mayor tiempo posible, en unas determinadas condiciones de seguridad. Se define la disponibilidad (avalilability, en inglés) de nuevo en el estándar IEC-60050 (IEC60050, 1990) como “la capacidad de un componente o sistema (con una fiabilidad y un mantenimiento determinado) para desarrollar su función en un instante preciso o durante un período de tiempo determinado”.

La disponibilidad es una medida de la proporción de tiempo que la instalación está en condiciones de generar electricidad y es, por tanto, independiente de si en ese momento se requiere o no su operación por demanda de consumo. Es el factor de utilización de la instalación el parámetro que expresa el tiempo que el sistema está realmente generando electricidad.

La disponibilidad de una instalación reparable depende por un lado de su fiabilidad, del número de averías y/o desconexiones que sufra y, por otra, del tiempo de parada por mantenimiento. Como ya se ha adelantado en el apartado anterior, puede presentarse el caso de un sistema con componentes de alta calidad técnica y elevada fiabilidad, pero con un mantenimiento complejo frente a otro con mayor riesgo de falla, pero de reparación más rápida. Es la valoración conjunta de varios factores la que determina las características del sistema; en resumen, es la disponibilidad el parámetro de evaluación cuantitativa final del análisis de confiabilidad de sistemas.

### ✓ **Seguridad**

El último componente incluido en el concepto de confiabilidad es el de seguridad del sistema. Høyland toma la definición del estándar denominado ‘System Safety Program Requirements’ del Departamento de Defensa de EEUU, donde se menciona seguridad como la cualidad de “estar libre de condiciones que puedan causar muerte, herida o enfermedad a personas o daño o pérdida de equipos”. Esta definición ha sido comúnmente modificada, puesto que en realidad ninguna actividad está totalmente libre de riesgo; así, se ha sustituido ese término por el de “nivel de riesgo aceptable”. Debe, por tanto, definirse

este nivel de riesgo en función de las consecuencias que tendría una posible falla. Por el contrario, en E/CT 184 de Merlin Gerin (Logiaco, 1997) se define seguridad como “ la aptitud de un sistema para no poner en peligro a las personas”. En este caso, como se observa, no se mencionan los daños materiales.

Las cuestiones relacionadas con la seguridad han sido el origen de los estudios de confiabilidad y por su importancia requerirían un estudio extenso que queda, sin embargo, fuera de los objetivos de este trabajo. Se analiza aquí, únicamente, la influencia de los dispositivos de seguridad incluidos habitualmente en instalaciones fotovoltaicas autónomas de pequeño tamaño (fusibles, varistores, diodos de paso,) sobre la función de suministro eléctrico. Otro tipo de sistemas de seguridad más complejos, por ejemplo, para una mayor protección frente a sobretensiones no parece estar justificada en el escenario actual de la electrificación fotovoltaica, aunque sí en sistemas de mayor tamaño y de conexión a la red. La inclusión obligada de determinados dispositivos de seguridad, junto a su beneficio incuestionable, añade complejidad a la instalación. Por una parte, se pueden evitar daños graves a personas o a otros elementos, y, por otra, presentan un riesgo de falla propio, como cualquier otro componente del sistema. Podría darse el caso de parada en la instalación por falla únicamente del dispositivo de seguridad, sin que realmente hubiera necesidad para ello. En todo caso, sus efectos sobre la disponibilidad del sistema se expresan a través de la propia fiabilidad, es decir, del análisis de fallas del sistema

### **3.9.3 Expresiones matemáticas básicas**

Una vez presentados los conceptos generales que constituyen la teoría de confiabilidad de sistemas, el siguiente paso consiste en definir las variables y funciones básicas para el modelado y posterior evaluación cualitativa y cuantitativa de las instalaciones. Se puede encontrar en la literatura estudios exhaustivos sobre teoría de fiabilidad de sistemas y su tratamiento estadístico, cuya aplicación depende de los objetivos del análisis y del número y tipo de datos disponibles.

#### **3.9.3.1 Expresiones dependientes del tiempo**

La teoría de confiabilidad emplea un conjunto de funciones y variables para describir la evolución temporal de diversos aspectos relacionados con la fiabilidad, el mantenimiento y la disponibilidad energética.

En primer lugar, se especifican las expresiones relativas a la fiabilidad y análisis de fallas: tiempo hasta la falla, función de fiabilidad y tasa de falla.

✓ **Tiempo hasta la falla,  $T_f$**

Es el tiempo transcurrido desde que el elemento (componente o sistema) es puesto en operación hasta que falla por primera vez. En la práctica, el tiempo hasta la falla de un sistema o de un simple componente depende de múltiples factores, pudiendo representarse a través de una variable aleatoria continua  $T_f$ , con densidad de probabilidad  $f(t)$  y función de distribución  $F(t)$ .

Como es bien sabido, la función de distribución  $F(t)$  aquí definida expresa la probabilidad de que el elemento falle en el intervalo entre 0 y  $t$ , esto es:

$$F(t) = P(T_f < t) \quad (2.1)$$

La función de distribución toma valores entre 0 y 1 y es siempre creciente con el tiempo. Se obtiene integrando la propia función de densidad desde el instante inicial hasta el instante  $t$ :

$$F(t) = \int_0^t f(u) du \quad (2.2)$$

✓ **Función de fiabilidad,  $R(t)$**

Es común la utilización práctica del término complementario de la función de distribución de la falla,  $F(t)$ . Así, se define la función de fiabilidad,  $R(t)$ , como la probabilidad de que un componente o sistema no falle en un intervalo entre 0 y  $t$ .

$$R(t) = P(T_f > t) \quad (2.3)$$

siendo, por tanto:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.4)$$

$$R(\infty) = 0 \quad (2.5)$$

Las condiciones de contorno de la función de fiabilidad son:

$$R(0) = 1, R(\infty) = 0 \quad (2.6)$$

La primera de ellas establece que en el instante inicial todos los sistemas están funcionando correctamente. La segunda condición expresa que todo elemento alcanza finalmente el fin de su vida útil, después de más o menos tiempo.

✓ **Tasa de falla,  $z(t)$**

Se define la tasa de falla de un elemento como la probabilidad de que dicho elemento falle en un intervalo  $(t, t+\Delta t)$ , cuando funcionaba correctamente en el instante  $t$ . Es, por tanto, una probabilidad condicionada, con unidades de tiempo a la inversa,  $t^{-1}$ .

Se expresa de forma analítica como:

$$z(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{P(t < T_f \leq t + \Delta t | T_f > t)}{\Delta t} \quad (2.7)$$

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.8)$$

El objetivo final de todo análisis, en una primera fase, es la estimación de la fiabilidad del conjunto del sistema, esto es, si es probable que preste el servicio esperado después de un determinado tiempo o bien si lo es la aparición de una avería. Para poder realizar dicha estimación global, es necesario partir de los elementos o situaciones de falla constituyentes. Calculando su fiabilidad individual mediante la información disponible y conociendo sus interrelaciones es posible analizar el sistema completo. Este análisis particularizado permite, a su vez, poder conocer el origen de cada falla y sus posibles soluciones y las mejoras de diseño o de mantenimiento preventivo necesarias en cada punto, de forma más clara que si se tiene únicamente una visión del conjunto.

Las expresiones equivalentes para la fase de mantenimiento, con desarrollo matemático similar, son:

✓ **Tiempo de mantenimiento (parada por reparación),  $TM$**

El tiempo de mantenimiento,  $TM$ , es, de forma genérica, una variable aleatoria continua que expresa el tiempo transcurrido desde la aparición de la falla hasta la nueva puesta en marcha del sistema o elemento en cuestión. Puede expresarse, a su vez, mediante una función de distribución o función de probabilidad de mantenimiento,  $M(t)$ , definida como la probabilidad de cumplir con la reparación del elemento fallado en un intervalo entre 0 y  $t$ , donde  $t=0$  es el momento de la falla:

$$M(t) = P(TM \leq t) \quad (2.9)$$

✓ **Tasa de reparación,  $\mu(t)$ :**

La tasa de reparación, con unidades inversas de tiempo, se obtiene de:

$$\mu(t) = \frac{1}{M(t)} \frac{dM(t)}{dt} \quad (2.10)$$

Ambos factores, fiabilidad y capacidad de mantenimiento, determinan la disponibilidad real del sistema. Tal y como se expresa en (M. Kolhe, 2002), se considera una variable de estado,  $X(t)$ , para representar al sistema, tomando el valor 1 si el sistema está funcionando (en condiciones de operar, en realidad) y 0 si está en parada por mantenimiento. La evolución temporal del estado del sistema se representa en la siguiente figura:

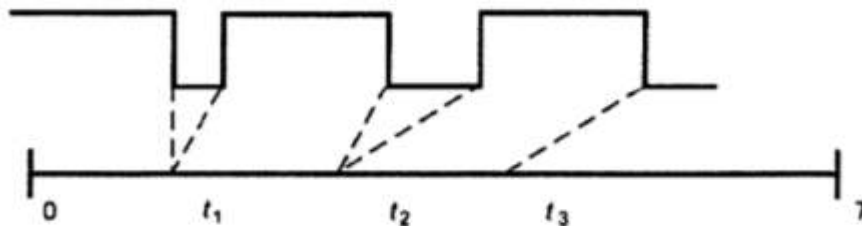


Figura 13 Esquema de estados de un sistema reparable (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

Se define, entonces, la función de disponibilidad,  $A(t)$ , como la probabilidad de que el sistema esté funcionando correctamente en un instante  $t$ :

$$A(t) = P(X(t)) = I \quad (2.11)$$

La diferencia clave entre fiabilidad y disponibilidad reside en el intervalo temporal. Para un sistema reparable, el funcionamiento correcto en un instante  $t$  no implica necesariamente haber funcionado durante todo el tiempo entre 0 y  $t$ , ya que puede haber sufrido averías intermedias con reparación. Sin embargo, nuestro interés se centra en lograr la máxima

disponibilidad después de todo el tiempo previsto de operación del sistema. Desde un punto de vista matemático, las fallas (falta de fiabilidad) de reparación muy rápida (elevada capacidad de mantenimiento) no tienen influencia real sobre la disponibilidad; el problema estriba en que si el número de fallas es elevado, los costes de mantenimiento se hacen inasumibles y los tiempos de reparación se incrementan, por transporte, agotamiento y nueva adquisición de repuestos y por el propio tiempo de reparación. Si los recursos son limitados, como ocurre en la práctica, la influencia de una baja fiabilidad es enorme, pudiendo llegar a interrumpir definitivamente la operación de las instalaciones. En concreto, si el sistema no se repara se concluye que  $A(t)=R(t)$ .

Una vez definidas las expresiones básicas aplicables en la teoría de confiabilidad de sistemas de generación eléctrica, este apartado se completa con una breve descripción de las funciones de distribución más utilizadas en la práctica para expresar las variables asociadas al falla y mantenimiento de sistemas (M. Kolhe, 2002): exponencial y Weibull. Este modelado facilita el análisis, al emplear funciones conocidas con desarrollos conocidos. En realidad, las propias bases de datos disponibles, ahora y en el futuro, del mantenimiento de cada uno de los elementos del sistema son las de marcar un tipo de distribución más conveniente en cada caso. Hay elementos cuyas causas de falla más comunes son aleatorias, independientes del tiempo de operación, salvo en las etapas extremas; otros, por el contrario, sufren una degradación progresiva con el tiempo. Cada elemento tiene, por tanto, un modelado diferente.

#### ✓ **Distribución exponencial:**

La distribución exponencial se emplea de forma habitual en estudios de fiabilidad, por su aplicación sencilla y su utilidad para representar los tiempos de vida de bastantes dispositivos. En concreto, se pueden expresar mediante distribución exponencial aquellos elementos con causas de falla aleatorias, súbitas o accidentales, e independientes del tiempo, como son los equipos electrónicos. Se suministran datos de tasa de falla en el manual denominado 'Reliability Prediction of Electronic Equipment. Military Handbook. La principal característica de este tipo de distribución es, precisamente, una tasa de falla constante en el tiempo como se muestra en la figura 4.

Las expresiones básicas se especifican en la Tabla 1, donde el parámetro de escala refleja la magnitud de la ocurrencia de fallas.

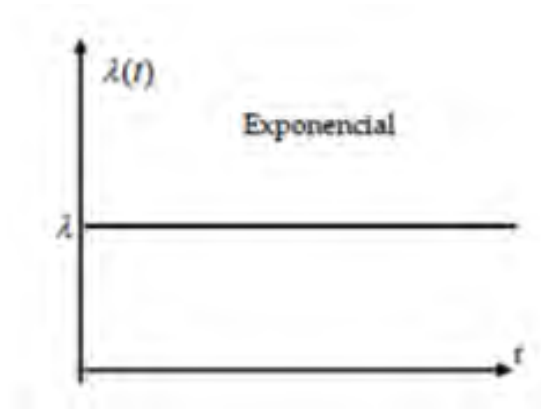


Figura 14 Tasa de falla independiente del tiempo (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

Tabla 22  
Expresiones básicas de fiabilidad en distribución Exponencial

Concepto	Expresión matemática
Función de distribución	
Densidad de probabilidad	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$
Función de fiabilidad	$R(t) = e^{-\lambda t}$
Tasa de falla	$z(t) = \lambda = \text{Constante}$

Datos (Fuente : M. Kolhe, 2002)

✓ **Distribución de Weibull:**

No todos los elementos pueden modelarse mediante una tasa de falla constante. Para elementos con tasas de falla dependientes del tiempo de operación es bastante común el empleo de la distribución de Weibull (M. Kolhe, 2002) . Sus expresiones básicas se muestran en la Tabla 2, donde  $\infty$  es el parámetro de escala y  $\pm$  el parámetro de forma.



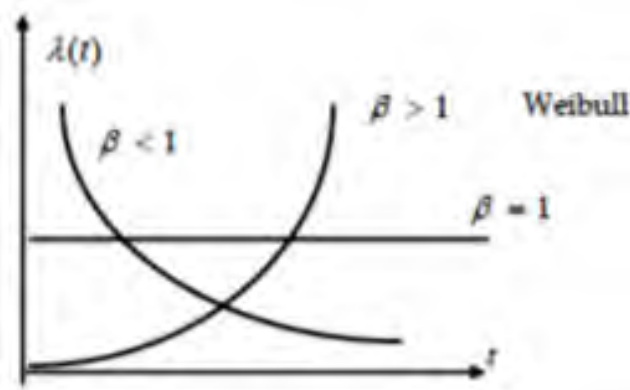


Figura 15 Distribución de Weibull (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

Tabla 23  
Expresiones básicas de fiabilidad en distribución de Weibull

Concepto	Expresión matemática
Función de distribución	$F(t) = 1 - e^{-(\lambda t)^\alpha}$
Densidad de probabilidad	$f(t) = (\alpha \lambda) \cdot (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-(\lambda t)^\alpha}$
Función de fiabilidad	$R(t) = e^{-(\lambda t)^\alpha}$
Tasa de falla	$z(t) = (\lambda \alpha) (\lambda t)^{\alpha-1}$

Datos (Fuente : M. Kolhe, 2002)

La razón de la amplia utilización de la distribución de Weibull para el modelado de diferentes variables reside en su flexibilidad. Así, con diferentes valores del parámetro de forma se obtienen tendencias diferentes, conjugando tramos con diferente valores de  $\alpha$  se puede representar situaciones prácticas bastante comunes en estudios de fiabilidad; las que veremos a continuación:

- **Decreciente-constante-creciente**

En esta representación, llamada habitualmente “curva de la bañera” (Figura 6) se diferencia una fase inicial (mortalidad infantil), con elevada tasa de fallas por defectos de fabricación no detectados, defectos debidos al transporte o a la instalación. Al ir apareciendo estos problemas, y procediendo a su reparación, la tasa de fallas decrece. Se

alcanza una fase, prolongada, con tasa de falla constante (distribución exponencial), considerada la vida útil del equipo.

Conjugando tramos con diferente valores de  $\lambda$  se puede representar situaciones prácticas bastante comunes en estudios de fiabilidad.

En esta representación, se diferencia una fase inicial (mortalidad infantil), con elevada tasa de fallas por defectos de fabricación no detectados, defectos debidos al transporte o a la instalación. Al ir apareciendo estos problemas, y procediendo a su reparación, la tasa de fallas decrece. Se alcanza una fase, prolongada, con tasa de falla constante (distribución exponencial), considerada la vida útil del equipo. En esta fase los fallas se deben a causas aleatorias.

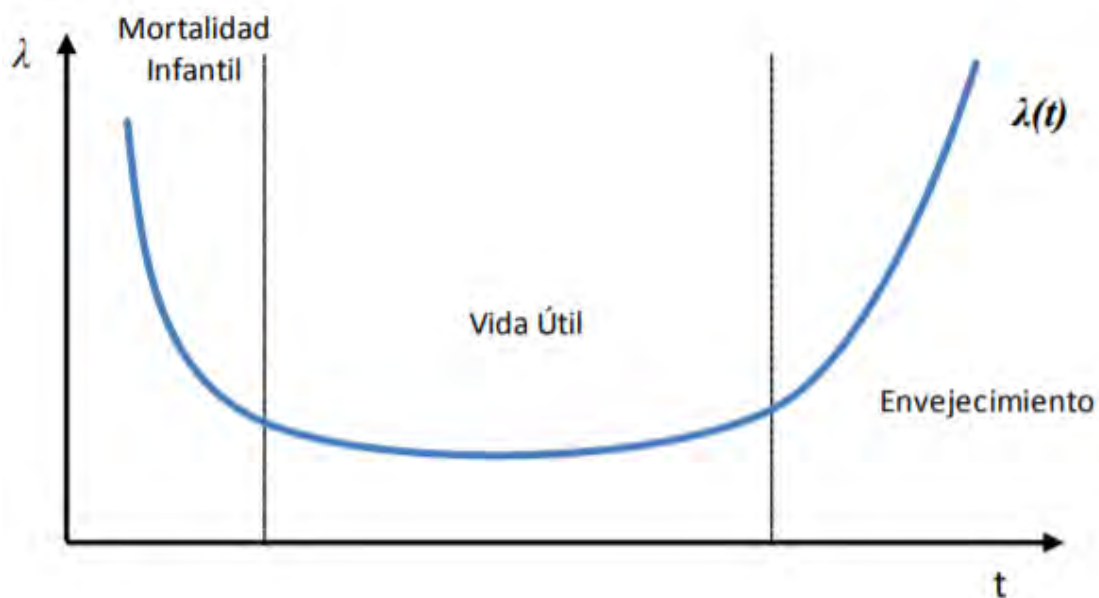


Figura 16 Curva de la Bañera (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

En la etapa final comienza a aumentar la tasa de fallas, por fatiga del material. Al entrar en esta fase ya es conveniente realizar, o al menos tener prevista, la sustitución masiva de componentes puesto que la probabilidad de falla es cada vez más elevada.

Este tipo de comportamiento es representativo de elementos sin un desgaste apreciable, salvo ya en una fase que se puede considerar como fuera de su tiempo de vida esperable.

Los componentes electrónicos son un ejemplo de esta evolución (más completa que la simple distribución exponencial), para los que la evolución temporal global de la tasa de

fallas se obtiene mediante la superposición de las tres etapas y la estimación de los parámetros de escala y de forma.

- **Decreciente-creciente**

Existen otros elementos que sufren una degradación progresiva a lo largo de toda su vida, por sus propias características y por sus condiciones de operación: elementos mecánicos con desgaste fuerte, baterías electroquímicas, elementos expuestos a la corrosión, etc. Se refleja en la Figura 7 una tasa de falla inicial elevada pero decreciente, correspondiente a la mortalidad infantil, seguida a continuación de una fase ya permanente de incremento de la tasa de fallas por degradación:

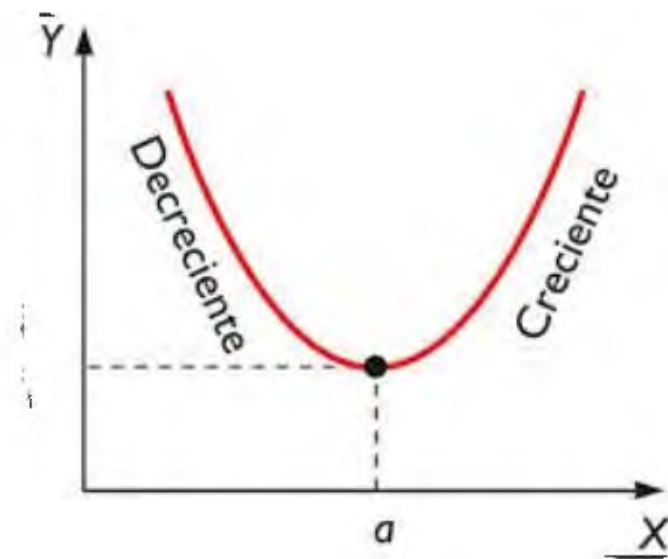


Figura 17 Tasa de falla decreciente-creciente (Fuente: (NAVAS ALVAREZ, 2017))

### 3.9.3.2 Expresiones de valor medio

Junto a las expresiones basadas en la probabilidad de ocurrencia de un determinado suceso (falla, reparación,...) es común emplear también variables de valor medio. Su utilidad mayor está asociada a elementos con distribución exponencial.

Las variables de valor medio básicas de utilidad en sistemas de generación eléctrica reparables se detallan a continuación, definidas por sus acrónimos en inglés por su utilización universal en teoría de confiabilidad. Presentan unidades de tiempo (años, habitualmente).

- ✓ **MTTF o MTFF (Mean Time To Failure o Mean Time to First Failure)**

El tiempo medio hasta el primer falla de un elemento se obtiene de la integración de la función de fiabilidad, en la ecuación:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.12)$$

Es un parámetro de gran importancia, ya que refleja el tiempo medio de funcionamiento sin problemas de un componente o de un sistema. Es por tanto, el primer indicativo de su fiabilidad. En sistemas no reparables, ya sea por su propia constitución, por falta de medios técnicos para el mantenimiento, por falta de repuestos, o cualquier otro motivo, este parámetro refleja el tiempo medio de vida de la instalación.

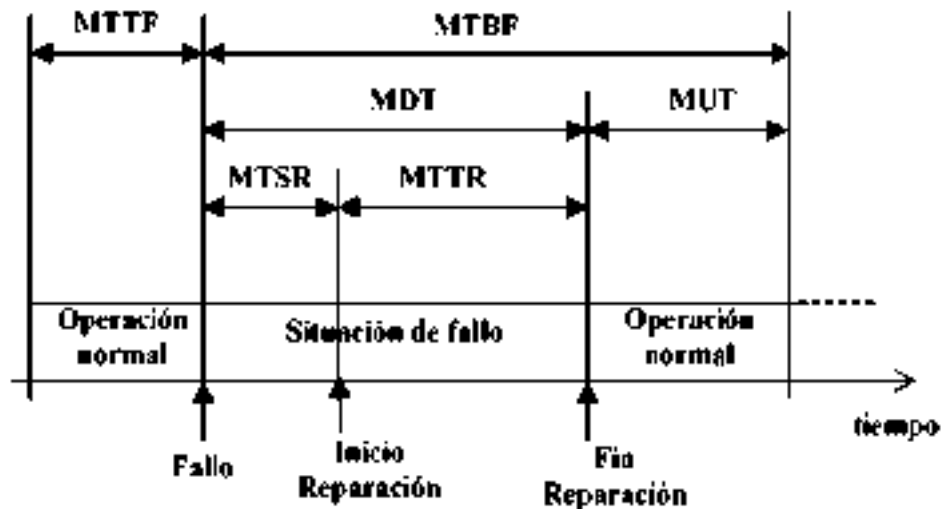


Figura 18 Funciones del valor medio en una secuencia de operación del sistema reparable (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante”

(NAVAS ALVAREZ, 2017))

Es importante destacar aquí el significado real de MTTF, ampliable al resto de expresiones de valor medio, ya que comúnmente se producen malentendidos.

Para una distribución exponencial, aplicando la expresión de la Tabla 2 a la ecuación (2.12):

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.13)$$

En este caso MTTF es la inversa de la tasa de falla. Si se calcula la fiabilidad en el instante con  $t = MTTF$ , aplicando la ecuación dada en la Tabla 2 se obtiene:

$$R(MTTF) = e^{-\lambda MTTF} = \frac{1}{e} = 0.36 \quad (2.14)$$

Así pues, para una distribución exponencial, el MTTF representa el tiempo para el que la probabilidad de que el elemento no haya fallado es del 36%, o bien, para un conjunto numeroso de elementos iguales, el tiempo estimado para el que 2/3 de los elementos sí han fallado. Es un término bien diferente, por tanto, de lo que se podría entender como tiempo de vida de un elemento concreto.

✓ **MTBF (Mean Time Between Failures)**

El tiempo medio entre fallas es el tiempo medio que transcurre entre la aparición de una falla hasta que se produce la siguiente, en un elemento o en un sistema reparable. En este caso sí se tiene en cuenta la fase de mantenimiento. Es este un parámetro básico para conocer la calidad e integración de cada elemento y del conjunto en su entorno de aplicación, a través de la disponibilidad del sistema.

✓ **MDT (Mean Down Time)**

Es el tiempo con el sistema no operativo. Transcurre, por tanto, entre falla y nueva puesta en marcha e incluye la detección de la falla, aviso a la asistencia técnica, desplazamiento y reparación y, en general, todas las fases ya tratadas anteriormente.

✓ **MTSR (Mean Time to Start Repairing)**

Es el tiempo medio desde que se produce la falla hasta el inicio de la reparación propiamente dicha. En sistemas aislados este tiempo puede llegar a tener un enorme peso. Las dificultades de comunicación y de transporte influyen en los plazos de llegada de los técnicos; a esto se suma el tiempo de adquisición de repuestos, en caso de no ser posible la reparación del componente averiado.

✓ **MTTR (Mean Time To Repair)**

Es el tiempo de reparación propiamente dicho, una vez se tienen los repuestos necesarios y el técnico se encuentra en el lugar. Depende, en líneas generales, del elemento que haya sufrido la avería y de las características de ésta. En instalaciones complejas, con muchos elementos conectados entre sí, el tiempo de reparación puede ser considerable. No ocurre lo mismo en las instalaciones fotovoltaicas autónomas, objeto de la Tesis, donde la reparación en sí no suele ser comparable al tiempo de espera previo.

✓ **MUT (Mean Up Time)**

Es el tiempo medio durante el cual el sistema está en condiciones de operar correctamente, desde que se pone en marcha el sistema después del falla y posterior reparación, hasta la siguiente falla. Es, por tanto, el complementario del MDT. El MUT es el parámetro que refleja la disponibilidad total del sistema en su relación con el tiempo total desde el momento de la instalación inicial del sistema hasta el de análisis, es decir, la suma del tiempo en operación y en parada.

A partir de estas definiciones y del gráfico temporal de la Figura 8 se establecen las relaciones entre las diversas expresiones de valor medio:

$$MTBF = MUT + MDT \quad (2.15)$$

$$MDT = MTSR + MTTR \quad (2.16)$$

Se pueden encontrar en la literatura denominaciones diferentes a estas para reflejar las diversas situaciones que experimenta un sistema durante su operación, o bien simplificaciones por las propias características de la aplicación. En este sentido, en sistemas en los que el inicio de la reparación es inmediato a la falla, por cercanía y por disponer de repuestos y del equipo técnico adecuado, es común referirse al MTTR como el tiempo de parada, no-operativo, de la instalación, esto es  $MTTR \approx MDT$ .

Asimismo, en sistemas de reparación muy rápida,  $MTBF \approx MTTF$  y es común hablar de MTBF de forma general para representar a ambos. Cabe insistir, sin embargo, que para aplicaciones en las que el mantenimiento es relevante, como son todas las aplicaciones descentralizadas, no debe confundirse el MTBF con el tiempo operativo del sistema, ya que el MTBF incluye el tiempo de parada. Es importante también señalar las diferencias en la aplicación de estos términos a componentes individuales (asimilables a sistemas no reparables) respecto a sistemas complejos y, en este caso, reparables.

Finalmente, se define la disponibilidad media del sistema para un tiempo suficientemente largo como:

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{MUT}{MTBF} \quad (2.17)$$

En la práctica es habitual evaluar la disponibilidad únicamente de esta forma, más que por su evolución temporal. En primer lugar, por la complejidad del cálculo directo de la disponibilidad dependiente del tiempo,  $A(t)$ , para distribuciones diferentes de la exponencial, pero, también, por la mayor utilidad del valor estable de la disponibilidad para

comparar la operación de diferentes sistemas durante tiempos prolongados y bajo las mismas condiciones.

### 3.9.3.3 Aplicación a sistemas con configuración serie y paralelo

Se ha mencionado ya que existen diferencias entre el tratamiento de un elemento individual y el de un sistema formado por un determinado número de componentes. En realidad, el nivel de subdivisión del sistema en sus constituyentes depende, por un lado, del grado de detalle de los datos y conocimientos disponibles sobre la operación del sistema y, por otro, del nivel de complejidad necesario para el análisis. En este sentido, a continuación, se presentan las expresiones principales anteriormente expuestas, aquí aplicadas a las dos configuraciones básicas: serie y paralelo. Cabe destacar que esta disposición se refiere a su funcionalidad, y no necesariamente a una disposición física en una u otra configuración.

#### ✓ Configuración serie

Un sistema con configuración serie implica que es suficiente con la falla de un elemento del sistema para que se produzca una falla general.

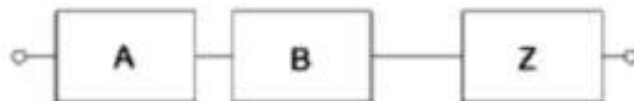


Figura 19 Elementos en serie (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

Así pues, el tiempo hasta la falla del sistema está marcado por el menor tiempo de operación correcta de entre todos sus componentes:

$$Tf = \min (T1, T2, \dots, Ti, \dots, Tn) \quad (2.18)$$

La fiabilidad del sistema es el producto de la fiabilidad de cada uno de sus componentes:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.19)$$

Esta configuración serie es muy común. Representa los equipos situados en la línea principal de generación eléctrica y que no disponen de dispositivos redundantes. Puede haber otros componentes de apoyo, información, soporte, cuyo fallo no implique necesariamente la parada del sistema y su reparación pueda realizarse en operación. Ese tipo de componentes no se consideran en este trabajo.

✓ **Configuración paralelo**

Si se necesita el fallo de varios componentes de forma simultánea para que no pueda realizarse una función se dice que dichos componentes están en paralelo.

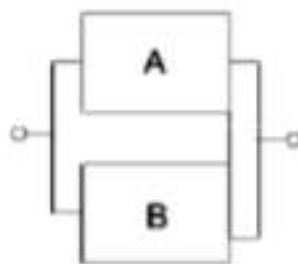


Figura 20 Elementos en paralelo (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

El tiempo hasta el fallo de una configuración en paralelo viene marcado por el mayor tiempo de operación correcta entre sus componentes:

$$Tf = \text{máx}(T_1, T_2, T_3 \dots T_n) \quad (2.20)$$

La fiabilidad del sistema se obtiene a partir del producto de las probabilidades de fallo de cada uno de sus componentes:

$$F(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (2.21)$$

En la realidad de los sistemas de generación eléctrica esta disposición en paralelo únicamente se emplea de forma habitual para sistemas de seguridad, donde se incluyen elementos redundantes para garantizar la actuación de las medidas de seguridad previstas. Para la función de generación eléctrica propiamente dicha, los costes que supone el disponer de varios elementos redundantes suele hacer descartar esta opción, en todo tipo de tecnologías y aplicaciones. Es preferible, en este caso, disponer de equipos de alta calidad



y asegurar un buen mantenimiento ante avería. En concreto, las instalaciones fotovoltaicas autónomas no disponen de ningún elemento redundante.

#### **3.9.4 Métodos de análisis de fallas**

Hasta este momento se han expuesto los conceptos, expresiones matemáticas y modelos básicos necesarios para el análisis de la confiabilidad de sistemas, entendidos estos desde un punto de vista genérico. Se han planteado expresiones que, como primer paso, trataban al sistema como elemento indivisible para, a continuación, destacar las dos configuraciones básicas, serie y paralelo, de las que la primera de ellas presenta una mayor utilidad en el caso de las instalaciones fotovoltaicas autónomas de baja potencia.

Para la aplicación de la teoría de confiabilidad a sistemas reales, de mayor o menor complejidad, y, en concreto, para el análisis de fiabilidad, se emplean diversas herramientas o métodos. Estos métodos, representados habitualmente en forma de tablas o gráficos, se pueden agrupar en dos categorías, según el tipo de análisis desarrollado (Lorenzo, 1992):

- Métodos inductivos
- Métodos deductivos

En los métodos inductivos se identifican los modos de falla de cada subsistema o elemento del sistema, para analizar, desde ese punto, su efecto sobre una avería global del sistema. Para sistemas de generación eléctrica, y en el marco de los objetivos de esta Tesis, la avería global se define por la falta de suministro eléctrico, si bien se profundiza en este aspecto en el capítulo siguiente. El ejemplo más significativo de herramienta de análisis inductiva lo constituyen las tablas de Análisis de Modos de falla y sus Efectos, conocidas como tablas FMEA.

Por el contrario, en los métodos deductivos se plantea inicialmente el estado superior (top event) que, en este caso, es la falta de suministro eléctrico. A continuación se identifica en qué estados se puede encontrar cada subsistema o elemento del sistema de forma que se haya podido llegar a dicha situación de avería general. Como ejemplo de métodos deductivos cabe mencionar el árbol de fallas. Asimismo, existen modelos más avanzados de análisis como los de Markov o de gráficos de estados que, además de los posibles estados de los elementos del sistema, tienen en cuenta en su configuración las transiciones entre ellos, esto es, tanto la avería como la reparación, si bien, bajo determinadas condiciones.

Sea cual sea la herramienta empleada para la descripción de los sucesos de avería del sistema, se comprende la importancia del conocimiento profundo de la operación del sistema y de todos los modos de falla que, en la práctica, causan dicha avería. Estos modos de falla pueden estar asociados a diferentes niveles de detalle: al sistema en su conjunto, a un subsistema o elemento principal del sistema, a un componente interno de dicho elemento o incluso, dentro de este componente, llegar al nivel molecular como origen de la falla. En este sentido, la elección del nivel de detalle elegido para el análisis depende de los objetivos pretendidos y del propio nivel de detalle de los datos disponibles sobre fallas y mantenimiento. Sin embargo, puesto que, como ya se ha mencionado, las tareas de toma de datos de fallas y mantenimiento han llegado después, no sólo de prever la necesidad de los análisis de confiabilidad, sino también después de establecer las propias herramientas de análisis, en realidad ambos aspectos caminan de forma conjunta. En el escenario actual de la electrificación rural fotovoltaica, en el que se plantea la importancia del estudio de la fiabilidad de las instalaciones, de su calidad técnica, y del efecto del mantenimiento, es necesario identificar qué datos pueden ser útiles y que grado de detalle debe alcanzarse. Después, las propias limitaciones que la toma sistemática de datos en entornos descentralizados impone puede modificar estos planteamientos iniciales.

A continuación: se describen las características básicas de los métodos de análisis señalados:

#### **3.9.4.1 Análisis de Modos de falla y sus Efectos**

Las tablas FMEA de análisis de modos de falla y sus efectos suelen emplearse como primer paso de un estudio de fiabilidad. Consiste en la especificación en tablas, para cada uno de los componentes del sistema (al nivel de detalle establecido), de todos sus modos de falla posibles y los efectos de dichas fallas sobre otros componentes y sobre el sistema completo. Asimismo, una de las entradas de la tabla permite incluir el valor de tasa de falla o bien una valoración cualitativa en niveles adaptables a cada circunstancia específica. Con valores tomados como ejemplo:

- Muy poco probable: una falla cada más de 100 años
- Poco probable: una falla cada más de 10 años
- Ocasional: una falla cada más de 5 años
- Probable: una falla cada más de 2 años
- Frecuente: una falla cada menos de 2 años

Como es habitual en la aplicación de este tipo de herramientas el solo hecho de realizar una revisión sistemática y detallada del diseño de una instalación resulta ya de gran utilidad. Puede ocurrir, asimismo, que se identifiquen modos de falla que permanecían ocultos y que deben valorarse en relación con el riesgo de aparición, con sus efectos sobre la fiabilidad, o incluso sobre la seguridad del sistema, y con el coste de las soluciones a introducir. Los puntos que se incluyen en una tabla FMEA clásica, para cada elemento del sistema, son los siguientes:

- Descripción del elemento

Función

Modo de operación

- Descripción del falla

Modo de falla

Mecanismo de falla

Detección del falla

- Efecto del falla

Sobre otros componentes

Sobre la función del sistema

- Tasa de falla

Nivel de gravedad

Medidas de reducción

Observaciones

Elemento final: Periodo de operación:			Elemento: Revision:			Preparado por: Fecha:			
Ref. Elemento	Descripción y función del elemento	Modo de fallo	Código del modo de fallo	Posibles causas de fallo	Efecto local	Medidas de compensación contra el fallo	Categoría de severidad	Frecuencia o probabilidad de ocurrencia	Comentarios

Figura 21 Ejemplo de formato de una hoja de trabajo AMFE (Fuente: “Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis Multivariante” (NAVAS ALVAREZ, 2017))

#### **3.9.4.2 Árbol de fallas**

El árbol de fallas es un diagrama lógico que muestra las interrelaciones entre un falla crítico general, definido previamente, y las causas de dicho falla, que pueden ser ambientales, por error humano, por hechos normales derivados de la propia vida útil del sistema o por fallas en los componentes. En sistemas formados por más de un componente y con más de un modo de falla posible, se emplean puertas lógicas AND y OR, para establecer las secuencias concretas de fallas que pueden derivar en el falla general del sistema, esto es, la interrupción del suministro eléctrico por avería. El número y nivel de subdivisiones del árbol depende del grado de complejidad del sistema y de las exigencias del propio análisis pero, sobre todo, de la información disponible sobre modos de operación y fallas en los diferentes puntos de un sistema.

El sistema no tendría falla alguno, pero no operaría por estar en mantenimiento preventivo programado; en el estado 3 se ha producido una avería en un componente y el sistema está parado hasta la reparación, con un tiempo de parada menos previsible.

La principal restricción del modelo de Markov estriba en que los tiempos de las transiciones, que representan las probabilidades de un determinado suceso, deben seguir una distribución exponencial para poder realizar una evaluación cuantitativa sencilla. Esto es, las tasas de falla, reparación, etc., son constantes con el tiempo, tal y como se definió en el apartado correspondiente.

#### **3.9.5 Metodología general del análisis de confiabilidad**

A lo largo del capítulo se han establecido, por una parte, los conceptos generales que cubre la teoría de confiabilidad de sistemas, particularizando para sistemas de generación eléctrica y, entre estos, para instalaciones fotovoltaicas autónomas. Por otra parte se han planteado las expresiones matemáticas básicas que permiten modelar diversos aspectos de fiabilidad, mantenimiento y disponibilidad. Estos modelos se aplican a los modos de falla causantes de una avería general con falta de suministro eléctrico. Los diagramas de fallas facilitan esta operación, siempre partiendo del conocimiento profundo del sistema, sus funciones y posibles problemas. En este último apartado del capítulo se presenta la

metodología a seguir para el análisis de confiabilidad de sistemas de generación eléctrica, con la intención de fijar los aspectos tratados hasta ahora dentro de un marco coherente. Si bien existe bastante diversidad en cuanto a los puntos concretos incluidos en un análisis de confiabilidad de sistemas, en función de los objetivos pretendidos, del tipo de aplicación, de la complejidad y de los datos disponibles, se establecen aquí unos puntos básicos a desarrollar:

- Objetivo y alcance del análisis
- Especificación del sistema
- Descripción funcional
- Elementos constitutivos
- Límites externos e internos del análisis
- Modos de operación • Análisis de fiabilidad
- Identificación modos de falla
- Desarrollo diagramas de fallas
- Recopilación de datos
- Modelado de la confiabilidad del sistema
- Evaluación cualitativa y cuantitativa
- Resultados y conclusiones

### **3.9.6 Metodología del RCM**

#### **3.9.6.1 ¿Qué es el RCM?**

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de modos de falla que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional dado. (BSGIstitute)

El RCM persigue una combinación óptima de tareas de mantenimiento de tipo preventivo, predictivo detectivo, rediseño u operación hasta la falla para la estructuración de un plan que de respuesta a los requerimientos de mantenimiento para un contexto operacional específico,

#### **3.9.6.2 Metodología del RCM según norma SAE JA**

El RCM se sustenta en el uso de tres herramientas, partiendo de una lista de equipos jerarquizados por criticidad, para la obtención de planes de mantenimiento basado en confiabilidad. (BSGInstitute)

- **Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)**

El Análisis de Modos y Efectos de Falla es un enfoque metodológico basado es un proceso estructurado de identificación de las posibles formas ocmo puede fallar (modos de falla) un proceso, sistema o equipo antes de que estas ocurran, con la finalidad de establecer las acciones que permitan mitigar el riesgo y sus efectos sobre el proceso de producción.

- **Pasos para aplicar FMEA**

- 1° Se describe la función de proceso pidiendo: ¿Cuál es el propósito de esta operación o parte?
- 2° Describa el modo de fallo anticipado preguntando:  
¿Cómo puede este proceso o componente no completar su función prevista?
- 3° Describir los efectos del fallo preguntando:  
¿Cuáles son los resultados del modo de fallo?
- 4° Describir la causa del fallo preguntando:  
¿Puedo anticipar las causas del fracaso y qué condición es el resultado del fracaso?
- 5° Estimar la ocurrencia (frecuencia de fracaso) preguntando:  
¿Qué calificación (1=baja a 10=alta) debo aplicar a las posibilidades de ocurrencia del modo de fallo?

Tabla 24  
*Índice de clasificación de Ocurrencias*

<b>ÍNDICE DE CLASIFICACIÓN DE OCURRENCIAS</b>	
<b>RANGO</b>	<b>CRITERIO</b>
1	Posibilidad remota de falla
2	Baja tasa de fallas basada en diseños anteriores con bajas fallas
3	
4	
5	Tasas de falla moderadas basadas en diseños similares que tienen algunas fallas ocasionales pero no en grandes proporciones
6	Altas tasas de falla basadas en diseños similares que han sido problemáticos
7	
8	
9	Tasas de falla muy altas y las fallas serán eventos importantes
10	

Fuente: (BSGInstitute)

6° Estimar la gravedad de la falla preguntando:

¿Cuál es la consecuencia (efecto) de un fallo (1 = molestia menor a 10 = consecuencia grave)?

Tabla 25

*Índice de clasificación de Gravedad*

<b>ÍNDICE DE CLASIFICACIÓN DE GRAVEDAD</b>	
<b>RANGO</b>	<b>CRITERIO</b>
1	Efecto indetectable en el sistema.
2	Impacto de baja gravedad porque la falla causará una ligera molestia al cliente
3	
4	
5	Gravedad moderada con cierta insatisfacción del cliente y con pérdida de rendimiento que el cliente puede notar.
6	
7	Alta severidad con alto grado de insatisfacción del cliente.
8	
9	Problema muy grave que implica un posible problema de seguridad o una no conformidad importante
10	

Fuente: (BSGIstitute)

7° Estimar la probabilidad de una detección de fallo preguntando:

¿Cuáles son las probabilidades de detección de fallos por parte del cliente / El usuario final o el mantenimiento dado el defecto existe (1 = alta oportunidad y 10 =no puede encontrarlo)?

Tabla 26

*Índice de clasificación de Detección*

<b>ÍNDICE DE CLASIFICACIÓN DE DETECCIÓN</b>	
<b>RANGO</b>	<b>CRITERIO</b>
1	Detección casi segura del modo de falla
2	Muy alta probabilidad de detectar el modo de falla
3	Alta probabilidad de detectar el modo de falla
4	Probabilidad moderadamente alta de detectar el modo de falla
5	Probabilidad moderada de detectar el modo de falla
6	Baja probabilidad de detectar el modo de falla
7	Muy baja probabilidad de detectar el modo de falla
8	Probabilidad remota de detectar el modo de falla
9	Muy remota posibilidad de detectar el modo de falla
10	No se puede detectar el modo de falla

Fuente: (BSGIstitute)

8° Calcular el número de prioridad de riesgo (RPN) para acciones prioritarias:

RPN = Ocurrencia \* Severidad \* Detección

Cuánto mayor es el número, más serio es el problema, Desarrollar un resumen de los puntos críticos de RPNs para resaltar dónde se debe dar prioridad a la acción.

**9º** Recomendar acciones correctivas:

FMEA identifica posibles modos de falla. Los ingenieros de confiabilidad tratan los problemas que otros corrigen.

El seguimiento es importante para que se produzcan acciones correctivas.



## **CAPITULO IV : METODOLOGIA**

### **4.1 Enfoque de investigación.**

Enfoque cuantitativo, que según (HERNANDEZ SAMPIERI, FERNADEZ COLLADO, & BAPTISTA, Metodología de la Investigación, 2010) estas investigaciones en sus “planteamientos a investigar son específicos y delimitados desde el inicio de un estudio”. La recolección de los datos se fundamenta en la medición y el análisis de los procedimientos estadísticos.

La investigación cuantitativa debe ser de los más objetiva posible, evitando que afecten a las tendencias del investigador.

En una investigación cuantitativa se pretende generalizar los resultados encontrados en un grupo. La meta principal de una investigación cuantitativa es la construcción y la demostración de teorías por tal razón utiliza la lógica o el razonamiento deductivo.

### **4.2 Alcance de investigación.**

Por la naturaleza del problema identificado y formulado, el alcance es sustantiva básica, en su dimensión descriptiva – correlacional; siendo que en estas investigaciones existe la necesidad de conocer el vínculo entre varias variables de investigación de una sola muestra y así encontrar la correspondencia o relación para establecer los nexos: diferencias o coincidencias; y a partir de ella se pretende establecer la correlación entre las variables de estudio.

### **4.3 Diseño de investigación.**

un diseño no experimental, transversal, descriptiva correlacional; que según (HERNANDEZ SAMPIERI, FERNADEZ COLLADO, & BAPTISTA, Metodología de la Investigación, 2010) esta “investigación no experimental es la que se realiza sin manipular

deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no se varia en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables”.

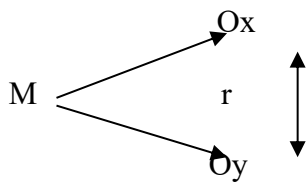
En la investigación no experimental es observar los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para luego analizarlos.

La investigación transversal recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Al que (HERNANDEZ SAMPIERI, FERNADEZ COLLADO, & BAPTISTA, Metodología de la Investigación, 2010) precisa que “su propósito es describir variables y analizar su incidencia o interrelación en un momento dado”. En el caso de nuestra investigación es medir la relación existente entre la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos y el soporte que se brinda.

Es descriptiva porque se presentará sistemáticamente las características o rasgos de los datos a obtener para ambas variables; y permitirá describir el comportamiento de los datos escogidos para ambas variables lo que permitirá determinar si la distribución de los datos corresponde o no a una distribución normal. En la parte correlacional se medirá las dos variables de la investigación, para luego verificar si existe relación entre ambas y finalmente se analizará esa correlación.

Por tanto, nuestra investigación es descriptiva correlacional porque se procederá a explicar la naturaleza de relación entre las variables de estudio Gestión y Sostenibilidad.

El diagrama que se utilizará es:



Donde:

M = Es la muestra

O= Son las observaciones

x= Es la variable Gestión

y= Es la variable Sostenibilidad

r= La relación entre las variables

#### 4.4 Población de estudio.

(HERNANDEZ SAMPIERI, FERNANDEZ COLLADO, & BAPTISTA, Metodología de la Investigación, 2010) Indica: “Es el conjunto de personas, cosas o fenómenos que tiene en común algunas características definitivas. Ante la imposibilidad de investigar el conjunto total, se seleccionara un subconjunto el cual se denominara muestra.”

#### 4.5 MUESTRA.

##### 4.5.1 Determinación del tamaño de la muestra

Es un subconjunto representativo de la población; una muestra puede ser probabilística (aleatoria) o no probabilística, que Jiménez C. (1983) precisa que la muestra “es una parte o subconjunto de una población, que pone de manifiesto las propiedades de la población”.

La muestra es una parte representativa de la población y se obtiene a partir de la siguiente relación:

#### CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Dónde:

Z = Población

N = Muestra base

p = Probabilidad de éxito.

q = Probabilidad de fracaso

d = Precisión.

Reemplazando valores en la fórmula

$$n = \frac{1012 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (1012 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 278.66$$

## **4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

La sistematización de procedimientos idóneos con fines de registro, conservación, ordenamiento y presentación de la información de modo tal que sea coherente con los objetivos de la investigación.

### **4.6.1 Técnicas de recolección de datos**

Se hará uso de la técnica de la encuesta, por considerar sus cualidades de obtener los datos con mayor confianza de las unidades de investigación y su estructura permite acceder a ella esta, mediante un cuestionario previamente diseñado con las preguntas que permitan obtener la información requerida, el cual el encuestador le entregará al encuestado para que lo llene, sobre .

### **4.6.2 Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento que viabilice será el cuestionario; que tendrá un conjunto de items estructurado en base a una secuencia sistemática de preguntas para obtener información sobre el problema que se está investigando. Para nuestra investigación se elaboró unas preguntas que corresponden a los indicadores de ambas variables.

## **4.7 Confiabilidad y validez de instrumentos**

Este instrumento para su validez será sometido al proceso de validación de expertos; y la ficha de validación del instrumento, este se estructurará según los indicadores que permitan que los expertos en Educación, Magíster o Doctores, cuantifiquen el porcentaje de la eficacia del cuestionario que se aplicará a las unidades muestrales recolectar la información de cada variable.

En el caso del cálculo del índice o coeficiente de confiabilidad, que cuanto más cerca este a la unidad el instrumento presentará muy alta confiabilidad, pero bastará que el instrumento presente alta confiabilidad, solo que en este caso la no cercanía a la unidad es indicador que podría presentar datos heterogéneos que nos podría llevar a cometer ciertos errores, pero para evitar estos errores recurriremos a los estadísticos de prueba correspondientes para

demostrar la hipótesis del investigador. Para tomar una decisión más acertada interpretaremos el valor del coeficiente de confiabilidad según la tabla 4.

Tabla 4: Interpretación del Coeficiente de confiabilidad

Rangos	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

Fuente: Elaboración Propia

Para calcular el valor de  $\alpha$ , utilizaremos la fórmula:

**Mediante la varianza de los ítems**

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left| 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right|$$

$\alpha$  = Alfa de Cronbach

K = Número de Ítems

$V_i$  = Varianza de cada ítem

$V_t$  = Varianza total

Para tal efecto de la confiabilidad se someterá a la prueba respectiva mediante la varianza de los ítems a ambos instrumentos aplicados, para las variables de estudio.

Para la evaluación de la confiabilidad de los instrumentos se aplicó una prueba piloto, obteniendo los siguientes resultados de alfa de Cronbach.

Instrumento	Valor de Alfa de Cronbach.	Interpretación
Habilidades sociales	0,93	Confiabilidad Muy alta
Tutoría Docente	0,86	Confiabilidad Muy alta

Los instrumentos son confiables, por lo tanto, se puede aplicar para realizar el presente estudio.

### Plan de análisis.

**Tabla 5: Plan de Análisis de Datos**

<b>HIPÓTESIS A SER PROBADA</b>	Los sistemas fotovoltaicos autónomos son altamente confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.
<b>HIPÓTESIS NULA</b>	Los sistemas fotovoltaicos autónomos NO son altamente confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.
<b>HIPÓTESIS ALTERNA</b>	Los sistemas fotovoltaicos autónomos son altamente confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA</b>	5%
<b>PRUEBA ESTADÍSTICA</b>	Chi- Cuadrado
<b>REGLA DE DECISIÓN</b>	Si $P < 0.05$ se acepta $H_a$ Si $P > 0.05$ Se acepta $H_o$

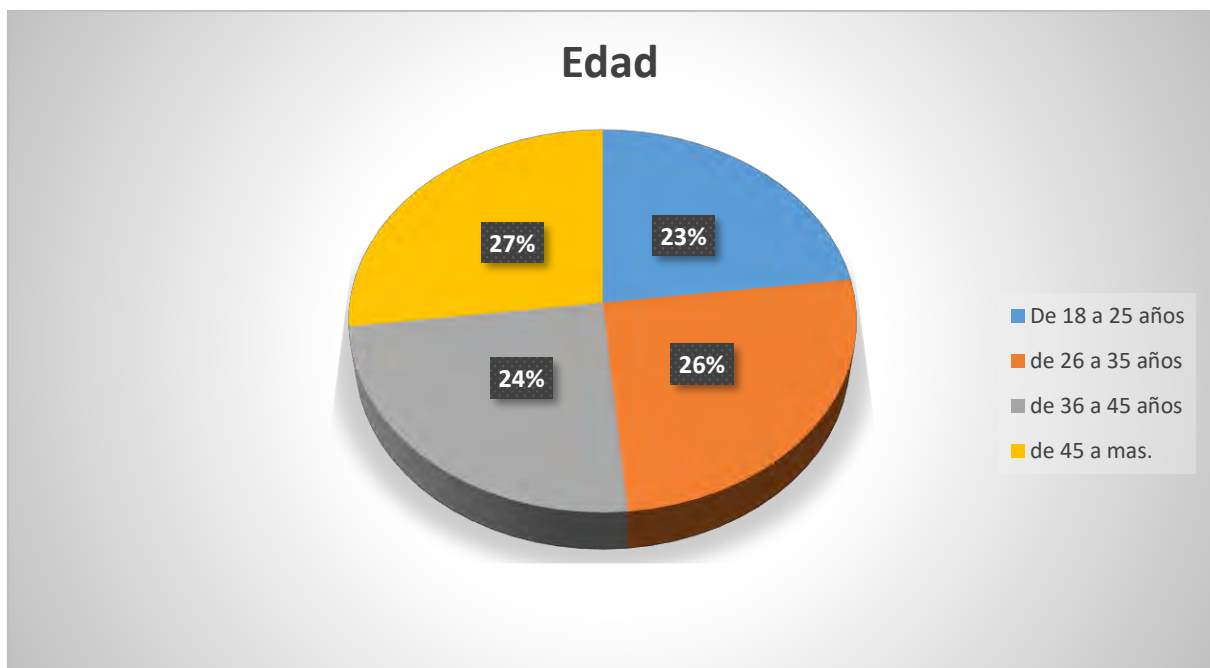
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría estadística

#### 4.8 Plan de analisis de datos.

*Pregunta 1 Promedio de edad de los encuestados.*

Edad

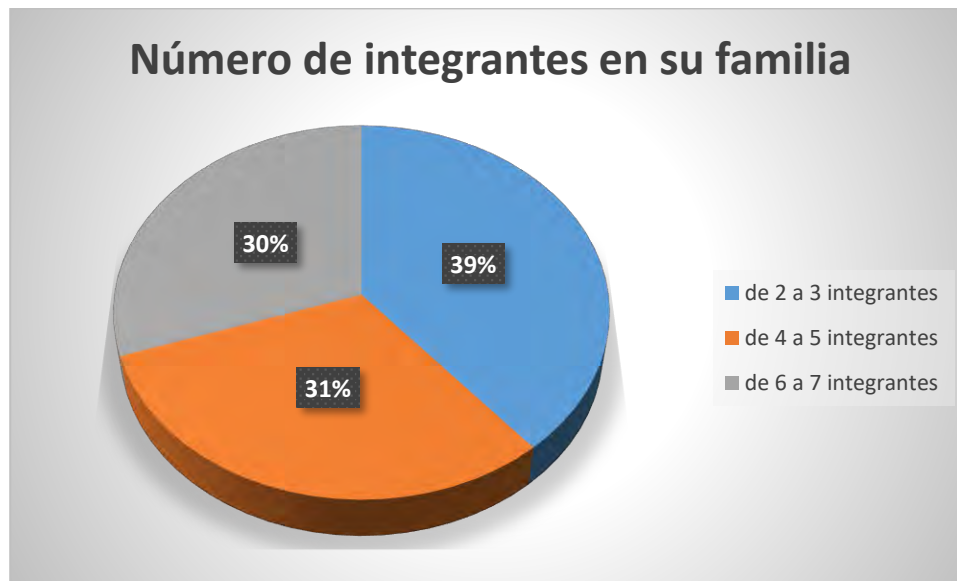
	Cantidad	Frecuencia
De 18 a 25 años	64	23%
de 26 a 35 años	71	26%
de 36 a 45 años	68	24%
de 45 a mas.	75	27%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



De acuerdo al numero de encuestados, el 27% pertenece a personas mayores a 45 años, mientras que un 24 % corresponde entre los 36 y 45 años, lo cual determina el 51%.

*Pregunta 2 Número de integrantes en su familia*

	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>de 2 a 3 integrantes</b>	108	39%
<b>de 4 a 5 integrantes</b>	86	31%
<b>de 6 a 7 integrantes</b>	84	30%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



De acuerdo a los datos obtenidos, vemos que la mayor cantidad de integrantes de una familia esta determinanada de 2 a 3 integrantes con un 39%, esto es determinante para la conexión de los sistemas fotovoltaicos en el hogar, asi mismo el 31% corresponde a familias de 4 a 5 integrantes y un 30% a familias que integran entre 5 y 7, todo ello es de mucha significancia para nuestra investigación, porque de allí determinaremos cuan fiables son los sistemas fotovoltaicos instalados en los hogares de la provincia de Quispicanchis.



*Pregunta 3 Usted tiene conocimiento sobre SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS?*

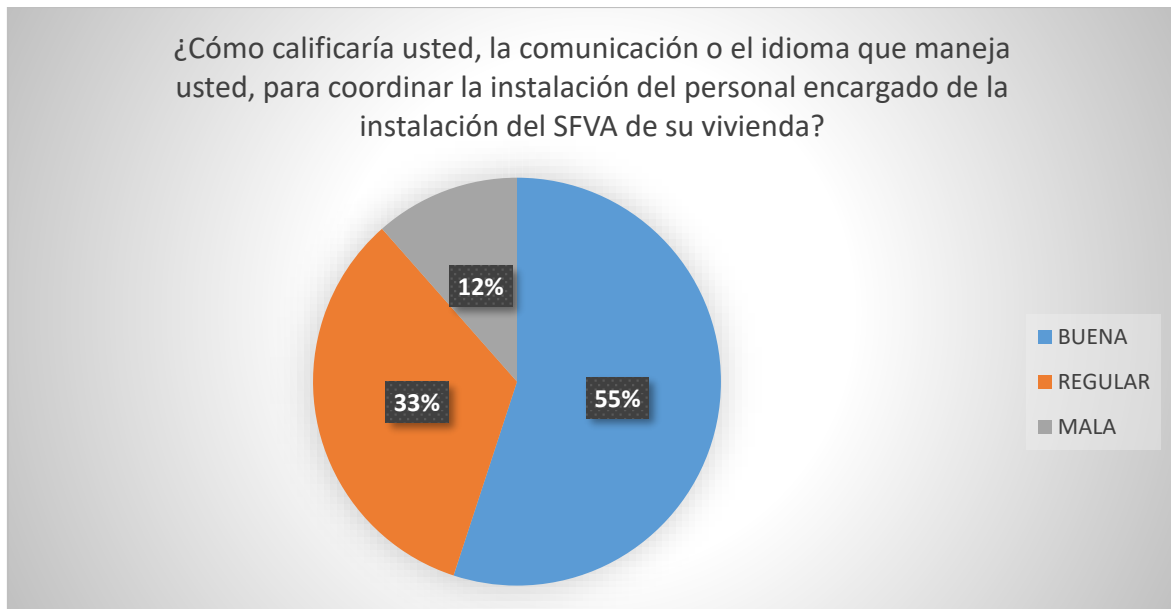
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	172	62%
<b>NO</b>	73	26%
<b>TALVEZ</b>	33	12%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



De acuerdo a la consulta sobre el conocimiento de los sistemas fotovoltaicos un 62 % indico que si tenia conocimiento y sabia que estaban instalando en sus hogares, mientras que el 12% indico que no conocía sobre los sistemas fotovoltaicos, en tanto el 26% menciona que no recordaba. Toda esta información obtenida determinara de mejor forma el análisis de nuestras hipótesis y determinar nuestras conclusiones.

*Pregunta 4 ¿Cómo calificaría usted, la comunicación o el idioma que maneja usted, para coordinar la instalación del personal encargado de la instalación del SFVA de su vivienda?*

	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>BUENA</b>	153	55%
<b>REGULAR</b>	93	33%
<b>MALA</b>	32	12%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>

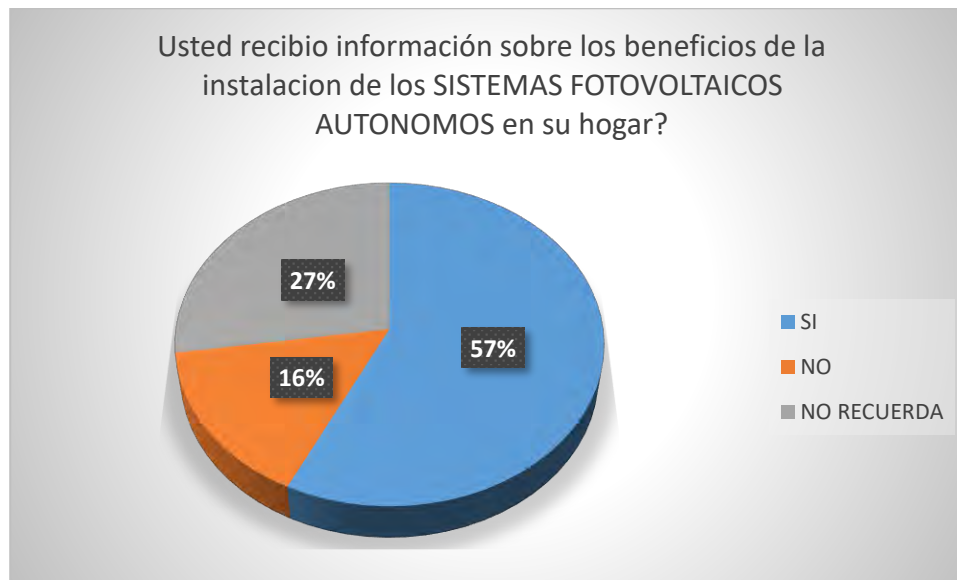


Con respecto a la comunicación e interacción con los ciudadanos a quienes se les hizo las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos el 55% indicó que fue buena, mientras que un 33% indicó que fue de manera regular, cabe indicar que hubo un 12% de encuestados y manifestó que la comunicación fue mala, todo ello es determinante para comprobar la confiabilidad y soporte de los sistemas fotovoltaicos.

*Pregunta 5 Usted recibio información sobre los beneficios de la instalacion de los SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS en su hogar?*

Usted recibio información sobre los beneficios de la instalacion de los SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS en su hogar?

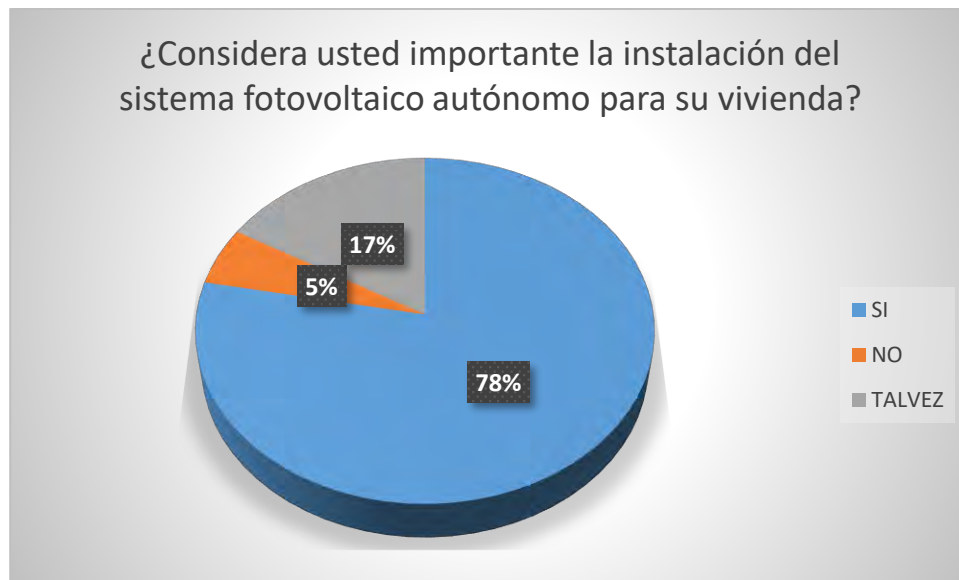
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	159	57%
<b>NO</b>	43	15%
<b>NO RECUERDA</b>	76	27%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



Sobre la información acerca de los sistemas fotovoltaicos autónomos se indica que el 57% de los encuestados SI recibió información, esto determina que la población encuestada tenia conocimiento sobre los beneficios que obtendría por la instalación de los SFVA.

*Pregunta 6 ¿Considera usted importante la instalación del sistema fotovoltaico autónomo para su vivienda?*

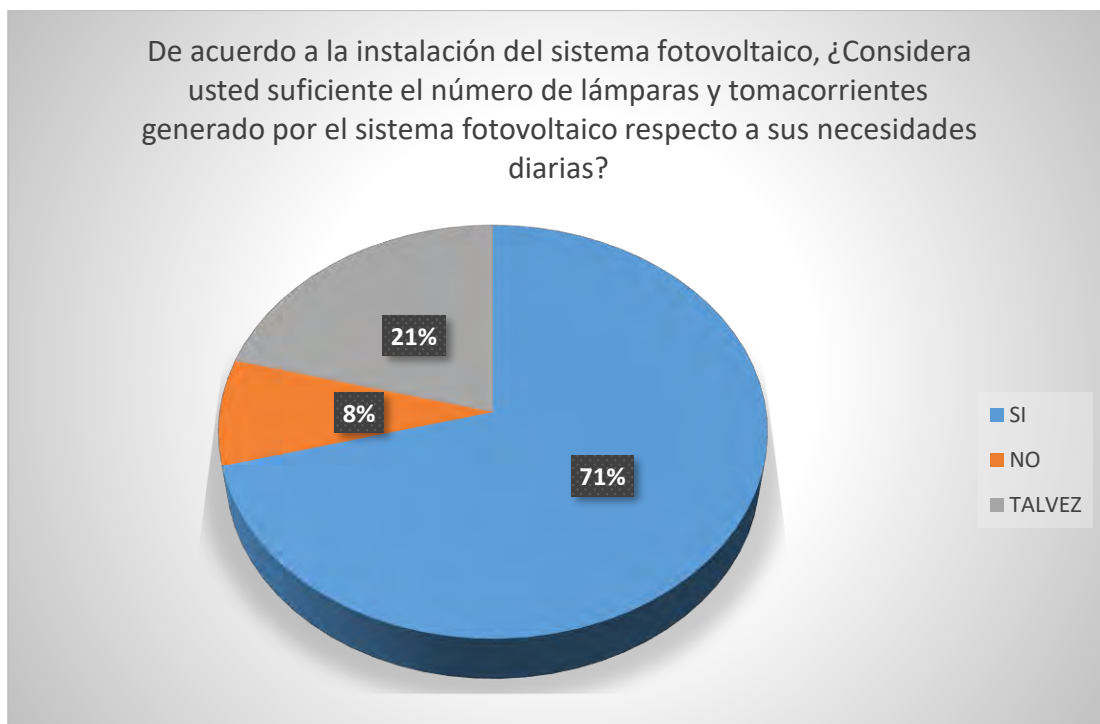
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	217	78%
<b>NO</b>	15	5%
<b>TALVEZ</b>	46	17%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



A la pregunta sobre la importancia de la instalación del sistema fotovoltaico autónomo en su vivienda el 78% de los encuestados afirmó que SI, por lo que podemos determinar que la población tiene confiabilidad en dichos sistemas.

*Pregunta 7 De acuerdo a la instalación del sistema fotovoltaico, ¿Considera usted suficiente el número de lámparas y tomacorrientes generado por el sistema fotovoltaico respecto a sus necesidades diarias?*

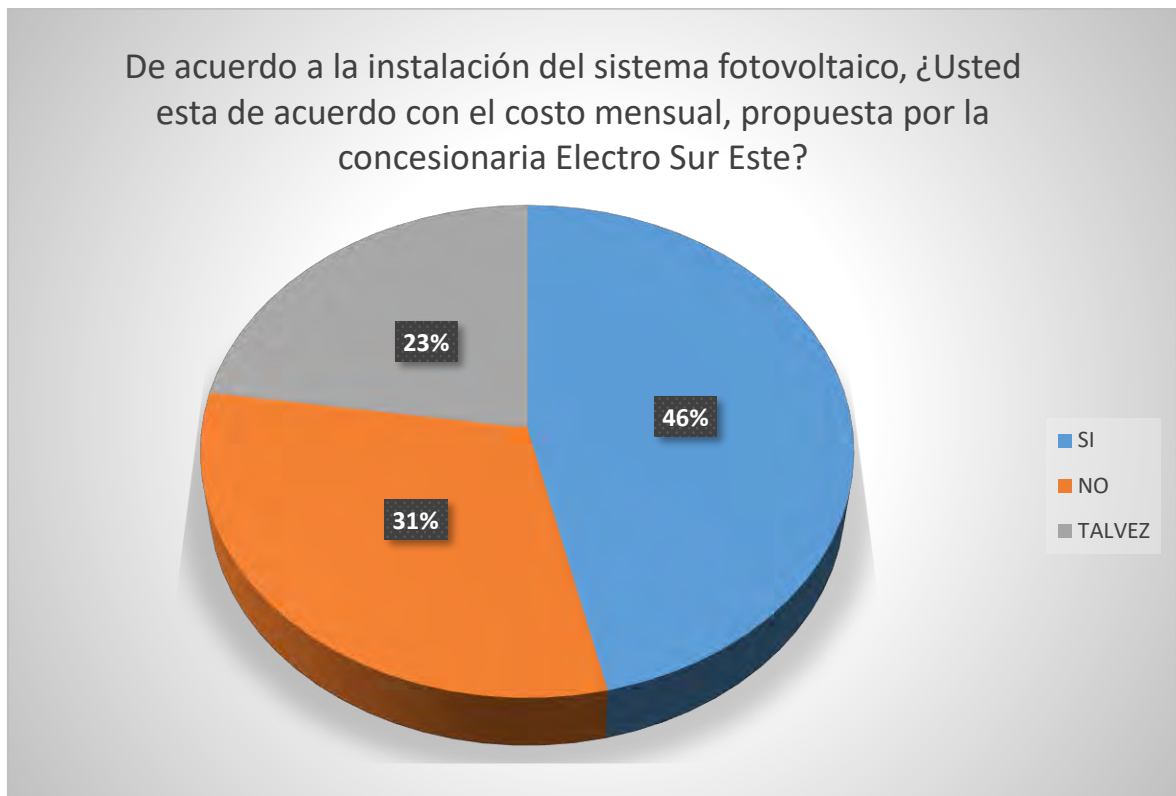
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	197	71%
<b>NO</b>	23	8%
<b>TALVEZ</b>	58	21%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



En cuanto al número de lámparas y tomacorrientes generado por el sistema fotovoltaico respecto a las necesidades de cada familia, el 71% de los encuestados indica que son suficientes, mientras que un 21% es indeciso en su respuesta, no obstante existe un 8% que manifiesta no estar satisfecho con la cantidad de lámparas y tomacorrientes.

*Pregunta 8 De acuerdo a la instalación del sistema fotovoltaico, ¿Usted esta de acuerdo con el costo mensual, propuesta por la concesionaria Electro Sur Este?*

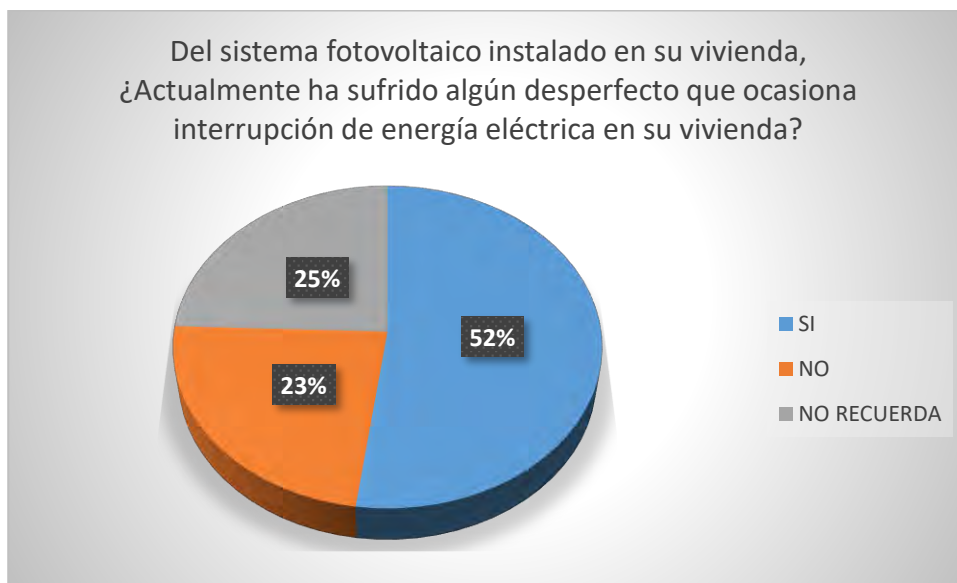
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	129	46%
<b>NO</b>	86	31%
<b>TALVEZ</b>	63	23%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



La consulta respecto al pago mensual por la instalación del sistema fotovoltaico el 46% manifiesta estar de acuerdo por dicho costo, mientras que un 31% indica que no esta de acuerdo por el costo cobrado por la concesionaria de Electro Sur Este, mientras que un 23% es indeciso, la pregunta nos da conocer la carencia de información brindada a los pobladores respecto a cual es la razón del cobro y que implica dicho cobro.

*Pregunta 9* Del sistema fotovoltaico instalado en su vivienda, ¿Actualmente ha sufrido algún desperfecto que ocasiona interrupción de energía eléctrica en su vivienda?

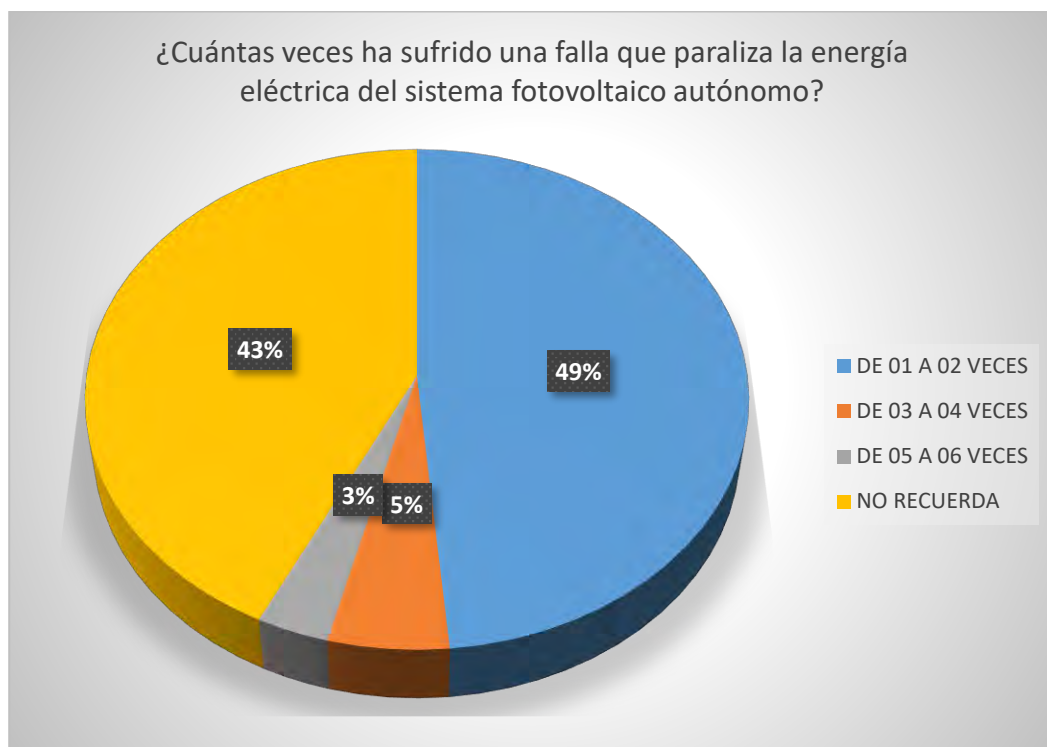
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	145	52%
<b>NO</b>	65	23%
<b>NO RECUERDA</b>	68	24%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



En cuanto a los desperfectos presentados por los sistemas fotovoltaicos instalados, los porcentajes están equilibrados siendo el 23% que indicaron que no tuvieron ningún inconveniente o no presento ningún desperfecto, mientras que un 52 % indico que si hubo desperfectos esto permitirá realizar un mejor análisis sobre la confiabilidad de los SFVA, y un 25% indica que no recuerda.

*Pregunta 10 ¿Cuántas veces ha sufrido una falla que paraliza la energía eléctrica del sistema fotovoltaico autónomo?*

	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>DE 01 A 02 VECES</b>	135	49%
<b>DE 03 A 04 VECES</b>	15	5%
<b>DE 05 A 06 VECES</b>	9	3%
<b>NO RECUERDA</b>	119	43%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



De acuerdo a nuestra investigación el 49 % de nuestros encuestados indicaron que hubo fallas de 1 a 2 veces hasta el tiempo de la entrevista, un 43% no recuerda si hubo algún tipo de fallas, mientras un 5% y un 3% indicaron que fue en mayor escala respectivamente. Cabe señalar que la información brindada por nuestros encuestados respecto a las fallas, determinara el confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos, no obstante se debe tener muy presente el elevado caso de fallas.



*Pregunta 11 Si el sistema presento fallo o desperfecto, ¿Cuánto tiempo estuvo inoperativo el sistema fotovoltaico autónomo instalado en su vivienda?*

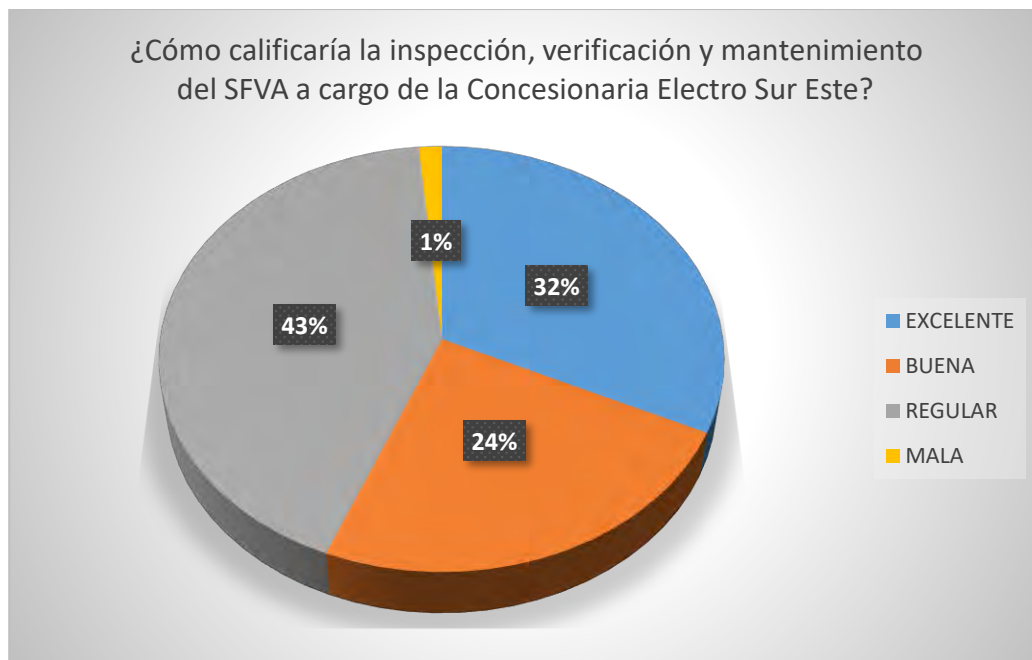
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>DE 01 a 3 DIAS</b>	147	53%
<b>01 SEMANA</b>	11	4%
<b>NO SABE NO OPINA</b>	120	43%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



Respecto de la inoperatividad de los sistemas fotovoltaicos el 53% de nuestros encuestados indico que el desperfecto tuvo una duración mayor a un día y menor a cuatro, mientras un 4% indicaron que el desperfecto lo tuvieron durante una semana, por otro lado el 43% de los encuestados no sabe ni nopina al respecto porque no tuvieron conocimiento, debemos tener muy en cuenta esta interrogante debido a que será fundamental en la comprobación de la hipótesis.

*Pregunta 12: ¿Cómo calificaría la inspección, verificación y mantenimiento del SFVA a cargo de la Concesionaria Electro Sur Este?*

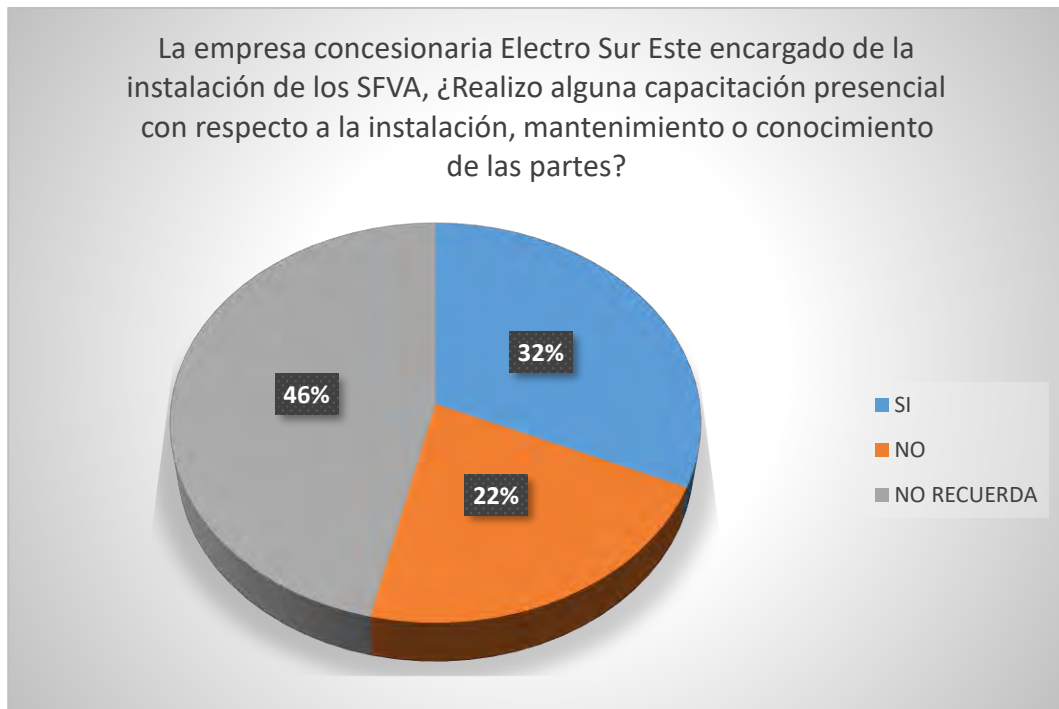
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>EXCELENTE</b>	89	32%
<b>BUENA</b>	67	24%
<b>REGULAR</b>	118	42%
<b>MALA</b>	4	1%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



El aspecto técnico es muy importante porque garantiza el buen funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos autónomos y del mismo modo permite a los investigadores determinar de mejor forma sus alternativas de solución, dicho ello verificamos que un 32 % de los encuestados indicó que el mantenimiento y verificación de los SFVA ha sido excelente, en tanto que 24% estuvo calificada como buena, superando así con un 56% ambos aspectos entre excelente y bueno, mientras un 43% indicó que el servicio fue regular quedando pendiente un 1% indicando que fue de mala la atención y verificación técnica.

*Pregunta 13 La empresa concesionaria Electro Sur Este encargado de la instalación de los SFVA, ¿Realizo alguna capacitación presencial con respecto a la instalación, mantenimiento o conocimiento de las partes?*

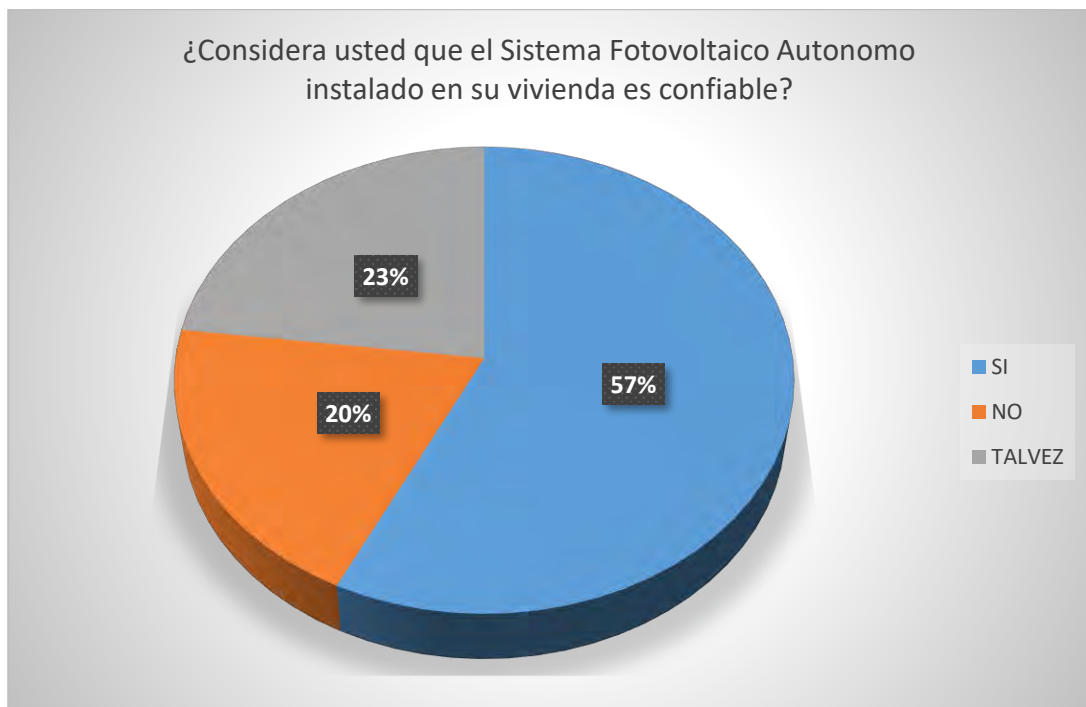
	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	88	32%
<b>NO</b>	61	22%
<b>NO RECUERDA</b>	129	46%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



Respecto a la consulta, si la empresa realizo capacitación alguna, los encuetados manifestaron en 32% que si se hizo un tipo de capacitación, mientras un 22% indica que no se realizo esta capacitación técnica, cabe mencionar que el pporcentaje mas amplio se encuentra en el sector de no recuerda con un 46%, esto implica que muchos de los involucrados no tomaron la importancia adecuada a este factor importante.

*Pregunta 14 ¿Considera usted que el Sistema Fotovoltaico Autonomo instalado en su vivienda es confiable?*

	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>SI</b>	159	57%
<b>NO</b>	55	20%
<b>TALVEZ</b>	64	23%
<b>TOTAL</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>



Respecto a la pregunta de mayor importancia dentro de nuestro estudio, la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos, tenemos que un 57 % afirma y responde que es CONFIABLE los sistemas fotovoltaicos instalados en sus hogares, confirmando en ese sentido la hipótesis del trabajo de investigación , mientras un 20% indica que no son confiables y un 23 % indica un talvez.

## CONCLUSIONES

- ✓ Al determinar la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos en la provincia de Quispicanchis en dos años de operación en sus diferentes componentes como son: el generador, regulador y cableado muestran valores por encima de 0.90.  
La confiabilidad de la batería es de 0.67 lo que hace que la confiabilidad del sistema se reduzca a 0.60 que es un factor claramente insuficiente.
- ✓ Se pudo establecer una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas que unifica: la influencia de la fiabilidad asociada a averías, los problemas derivados de su mantenimiento en la Provincia de Quispicanchis a través del Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) y el Número de Prioridad de Riesgo (NPR).
- ✓ Se pudo proponer un plan de mantenimiento preventivos y correctivos oportuno para brindar un servicio de calidad e igualitario a todos los beneficiarios ubicados en la Provincia de Quispicanchis.
- ✓ Al ser un trabajo de investigación muestral esta se puede inferir a toda la población, lo que representa un gran beneficio para el usuario garantizando la confiabilidad en el servicio de suministro de electricidad concordante con la tarifa que pagan y contribuyendo con el bienestar y desarrollo de la población

## **SUGERENCIAS**

Implementar un plan de mantenimiento para poder disminuir el número de SFV inoperativos, lo que representaría un gran beneficio para el usuario garantizando la confiabilidad en el servicio de suministro de electricidad concordante con la tarifa que pagan, ya que se genera el incentivo para que la Empresa que administra los Sistemas Fotovoltaicos realice oportunamente los mantenimientos preventivos y correctivos que se requieran, para brindar un servicio de calidad e igualitario a todos sus beneficiarios ubicadas en la Provincia de Quispicanchis.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J. (1995). *Energía Solar Fotovoltaica en el Ámbito de la Cooperación al Desarrollo. Caso de Estudio: el Altiplano Boliviano*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- AutoSolar . (24 de Julio de 2018). *AutoSolar Energía del Perú*. Obtenido de <https://autosolar.pe/blog/actualidad-de-energia-solar/peru-radiacion-solar-mas-alta-de-todo-el-planeta>
- Bolaños Quirós, C. (2008). *Protecciones contra descargas atmosféricas Teoría y normativa*. Puerto Rico.
- BSGIstitute. (s.f.). Programa Internacional en Mantenimiento & Confiabilidad.
- Código Nacional de Electricidad-Suministro*. (2011). Perú.
- Código Nacional de Electricidad-Utilización*. (2006). Perú.
- Córdova Alfaro, M. (2012). *Análisis y diseño de la instalación de un pararrayos en zonas de riesgo de descargas atmosféricas según las normas NFPA 70, NFPA 780 e IEC 62305*. Costa Rica.
- De La Sota Carazas, E. A. (2009). *Estudio de las descargas atmosféricas para la determinación de los mapas de densidad y los niveles isoceraunicos de la región del Cusco*. Cusco, Perú.
- Grisales Garcia , V., & Moriano Cadena , J. E. (2013). *Diseño de un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas caso bloque de la universidad tecnologica de Pereira*. Pereira.

- H. Arriaza, M. Hankins, B.D. Sharma. (2001). Experience with Solar Home Systems in Developing Countries. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 455-474.
- Herrera Castillo, M. M. (Junio de 2014).
- IEC60050. (1990). International Electrochemical Vocabulary. Dependability and Quality of Service. *IEC 60050*, 1-.
- IEC-60300-1. (1993). Dependability Management. *IEC*, 1-.
- Inzunza, J. C. (2009). *Meteorología Descriptiva*. Universidad de Concepción, Chile.
- Logiaco, S. (1997). Electrical installation dependability studies. *E/CT 184, Cahier Technique Merlin Gerin n° 184*, 1-.
- Lorenzo, M. E. (1992). The sizing of stand-alone PV systems: a review and a proposed new method. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 26, 51-69.
- M. Kolhe, S. K. (2002). Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India. *Energy Economics*, 24, 155-165, 2002.
- Martínez Lozano, M. (Noviembre de 2004). Obtenido de <http://prof.usb.ve/mmlozano/>
- Méndez Muñiz, J. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. FC EDITORIAL.
- Mendoza Torren, J. M., & Quintanilla Medina, C. F. (2009). Analisis y diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas en las instalaciones de la universidad nacional amazónica Madre De Dios. Cusco, Perú.
- National Fire protection Association 780-2014*. (2014).



- NAVAS ALVAREZ, M. A. (2017). *Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis multivariante*. Madrid.
- Niez, & Samanta. (2015). *Determinación de la Metodología de Cálculo de los Beneficios Sociales de la Electrificación Rural*.
- Norma Francesa 17-102*. (2011).
- Quezada, A. C. (Abril de 2002).
- Rendon, J. H. (s.f.). *Estudio sistema de protección contra rayos SIPRA*. Cusco.
- Ricalde De Bellido , C., & Cayo , Y. D. (s.f.). *Estudio de las resistividades de suelo para el diseño de puesta a tierra en la ciudad universitaria de Perayoc*. Cusco, Perú.
- Rojas, G. (2009). Manual de sistemas de puesta a tierra.
- SOHNE, D. +. (2007). Manual de protección contra rayos. *BLITZPLANER*.
- STANDAR, I. 6. (1993). Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules Design qualification and type approval. *IEC*.
- Tomasevich Yanque, I. (2009). *Medidas de resistividad del suelo, resistencia de puesta a tierra y potenciales de toque y paso*. Lima.
- Universidad ESAN. (s.f.). *Desarrollo de fuentes de energía renovable en el Perú . Instituto de Regulación y Finanzas*.
- Urrunaga, R., Bonifaz, J., Aguirre, J., Aragón, G., & Jara, O. (2013). *Beneficios sociales de la electrificación Rural*. Lima.
- Vergaray, H. (2013). *Evaluación y mejoras de la puesta a tierra y protección contra rayos en el campamento de la compañía minera San Simón*. Lima.

## ANEXOS

### ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS ACTUALMENTE EN LA PROVINCIA DE QUISPICANCHIS

#### 1. BATERÍAS

##### ALCANCE

Estas especificaciones técnicas tienen como objeto definir las características físicas y eléctricas de las baterías para uso en sistemas fotovoltaicos.

##### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS

Las características técnicas mínimas requeridas de las baterías.

- Batería o acumulador para sistemas fotovoltaicos, tipo GEL o AGM, libre de mantenimiento, con válvula reguladora VRLA, de descarga profunda.
- Tensión Nominal 12V.
- Capacidad mínima: 100 Ah, C100, 1.80 V/c
- Temperatura nominal de trabajo:  $25 \pm 5$  °C
- Resistencia interna: 4.9 - 9  $\Omega$
- Rango de descarga: No mayor a 10% después de 90 días de almacenamiento (garantizado por el fabricante).
- Vida útil: 10 años, a una temperatura referencial de 20°C (garantizado por el fabricante)
- Ciclos: No menor a los 1800 ciclos para una profundidad de descargada de 30%.
- La batería debe cumplir los siguientes estándares de pruebas: IEC 60896-21:2004: Stationary lead-acid batteries - Part 21: Valve regulated types - Methods of test y IEC 60896-22:2004: Stationary lead-acid batteries - Part 22: Valve regulated types - Requirements

- El material del recipiente deberá ser resistente a las sobrepresiones y presiones de vacío de la masa activa.
- La polaridad de cada batería deberá estar claramente identificada mediante el símbolo “+” para positivo y “-“ para negativo, ambos deberán estar indicados en bajo o alto relieve.
- Los conectores y/o bornes de las baterías deberán ser de cobre y apropiados para permitir la conexión firme de los cables mediante pernos y tuercas.
- Todos los pernos y tuercas, arandelas y demás elementos accesorios deberán ser de acero inoxidable.
- Las dimensiones de la batería no deberán superar; Largo: 325 mm, Alto: 170mm, y Ancho: 210 mm, la que deberá encajar en la caja porta batería.

## **2. PANEL SOLAR**

### **ALCANCE**

Estas especificaciones técnicas tienen como objeto definir las características físicas y eléctricas de los Paneles Fotovoltaicos para uso en sistemas fotovoltaicos domiciliarios.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS**

Las características técnicas mínimas requeridas para los paneles fotovoltaicos son:

#### Sistemas 100W

- Tipo de modulo: Policristalino
- Potencia Mínima: 100 W
- Estructura: Marco de aleación de aluminio anodizado.
- Vida útil: 10 años al 90% + 25 años al 80% de la entrega de potencia (garantizado por el fabricante)

- Voltaje de circuito abierto (Vca): 21.50 - 22.95 V
- Voltaje máximo de potencia (Vmp): 17.10 - 18.40 V
- Corriente de corto circuito (Isc): 5.85 - 6.17 A
- Corriente de máxima potencia (Imp): 5.43 - 5.86 A
- Temperatura de operación: -40 a +85 °C
- Temperatura de almacenamiento: -40 a +85 °C
- Voltaje máximo del sistemas: 600 - 1000 V

### Sistemas 70W

- Tipo de modulo: Policristalino
- Potencia Mínima: 65 W
- Estructura: Marco de aleación de aluminio anodizado.
- Vida útil: 10 años al 90% + 25 años al 80% de la entrega de potencia (garantizado por el fabricante)
- Voltaje de circuito abierto (Vca): 21.70 - 21.80 V
- Voltaje máximo de potencia (Vmp): 17.30 - 17.50 V
- Corriente de corto circuito (Isc): 3.90 - 4.00 A
- Corriente de máxima potencia (Imp): 3.71 - 3.76 A
- Temperatura de operación: -40 a +85 °C
- Temperatura de almacenamiento: -40 a +85 °C
- Voltaje máximo del sistemas: 50 - 1000 V

- **REGULADOR DE CARGA**

## ALCANCE

Estas especificaciones técnicas tienen como objeto definir las características físicas y eléctricas de los Equipos reguladores de carga para uso en sistemas fotovoltaicos domiciliarios.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL REGULADOR DE CARGA

Las características técnicas mínimas requeridas para equipos reguladores de carga son:

- Regulador o Controlador de Carga Solar con Display LCD
- Vida útil garantizada de 5 años mínimo.
- Protección contra inversión de polaridad, cortocircuito y circuito abierto
- Protección contra sobretensiones
- Voltaje del sistema con reconocimiento automático 12 / 24 V DC
- Max. carga/corriente de carga 10 A (que permita un segundo módulo fotovoltaico)
- De estado sólido (sin relays mecánicos)
- Carga de flotación: 13.7/27.4 V (25°C)
- Carga principal: 14.4/28.8 V (25°C), 30 min (diariamente)
- Carga de Boost: 14.4/28.8 V (25°C), 2h,  
Activación: voltaje de la batería < 12.3/24.6 V
- Ecuilización: 14.8/29.6 V (25 °C), 2 h,  
Activación: voltaje de la batería < 12.1/24.2 V
- Protección de descarga profunda:
  - Estado de carga dependiente: A: 11.4-11.9 V / 22.8-23.8 V  
B: 11.0-11.75 V / 22.0-23.5 V
  - Voltaje dependiente: A: 11.0 / 22 V  
B: 11.5 / 23 V
  - Adaptativa: 11.0 – 12.2 V / 22.0 24.4 V

- Nivel de reconexión: 12.8 / 25.6 V
- Protección de sobrevoltaje: 15.5 / 31.0 V
- Protección de voltaje bajo: 10.5 / 21.0 V
- Max. Voltaje de panel: 30V en sistema de 12V y  
50V en sistema de 24V

(Protección de sobrevoltaje por varistor)

- Compensación de temperatura: - 25 mV/K para 12 V y - 50 mV/K para 24 V  
(Voltaje de carga)
- Autoconsumo de corriente: < 4 mA
- Rango de temperatura ambiente: -20°C a +50°C
- Max. Altitud: 4,000 m sobre el nivel del mar
- Para tipo de baterías: Acido plomo (Gel, AGM, Liquidas)
- Tipo de protección: IP 22

### 3. CABLES DE CONEXIÓN

#### ALCANCE

Estas especificaciones técnicas tienen como objeto definir las características físicas y eléctricas de los cables para las diferentes conexiones entre los equipos del sistema fotovoltaico domiciliario.

#### CARACTERÍSTICAS

Todos los cables son flexibles

- Del módulo a la unidad de control: 10 m, en promedio, de conductor bipolar vulcanizado 12 AWG, apropiado para exteriores.

- De la unidad de control a la batería: 2 m en promedio, de conductor bipolar vulcanizado 12 AWG.
- De la unidad de control a las lámparas: 30 m, en promedio, (en total, para las 3 lámparas) de conductor bipolar vulcanizado 14 AWG.

## ANEXO B: SEGUIMIENTO DE FALLAS EN LA PROVINCIA DE QUISPICANCHIS

Codigo Falla	Suministro	REER	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificaciónFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLímiteAtención	Estado	FechaAtención	DiasParaAtención	TipoCanal	Usuario	Distancia
RF0007 0487- S001	0007 0487 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CANARI HUISA, MARTIN		WILFREDO VALERIANO POCCOHUANCA	022 996 37	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Quellohuaylla	Interruptor de luz dañado	M10 DC ENERGY BOX INOPERATIVO 3.80 V. REEMPLAZO DC BRZ1709301290 57811317 BN Z190527120905 7804420 HW 1.8 ACT V13 SE ENTREGO CARGADOR CIGARRERA 3 STICKER ANTIROBO CL 958845799	25/06/2 020	02/07/20 20	Aten do	30/06/ 2020	7	Presenci al	CALL CENTE R	1.2
RF0001 8432- S001	0001 8432 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	YUPANQUI LAIME, FRANCISCO	9774 1439 3	LINO CCAJAVILCA MAMANI	474 588 94	Cusco, Quispicanchi, Cusipata, Chillihuani	Panel solar roto	R09 REEMPLAZO TARJETA SA 00186064 SN 00177214 SE REEMPLAZA DOS DIODOS DEL PANEL V13 SE ENTREGO UN CARGADOR CIGARRERA HW 1.9 IC=1.03 A. CL 977414393	09/06/2 020	16/06/20 20	Aten do	15/06/ 2020	7	Presenci al	DISTRIBUIDO RA	1.5
RF0001 9989- S002	0001 9989 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CCOA CURASI, CONCEPCION	9747 2463 9	CEFERINO LLOCLLE CCAYOSI	402 908 64	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Sachak huacos	Caja de Energía inoperativa	M10 DCEB INOPERATIVO .SE REEMPLAZO 01FUCIBLE SE ENTREGO 01 ADAPTADOR USB TIPO CIGARRERA DCEB.ACT V13 VOC =21.86 ISC =8.63 IC=6.0A NUMERO CELULA	26/02/2 020	09/03/20 20	Aten do	04/03/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	7.1



Codigo Falla	Suministro	REER	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificaciónFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLímiteAtención	Estado	FechaAtención	DiasParaAtención	TipoCanal	Usuario	Distancia
										RUSUARIO 974724639								
RF0007 1800- S001	0007 1800 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CAÑARI CONDORI FAUSTINO		DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Pomaqocha	Caja de Energía inoperativa	M09 PANEL Y DCEB INOPERATIVO CONTROLADO R BLOQUEADO SE REEMPLAZO CONTROLADO R NUEVO 00171924 RETIRADO 0044818 02 DIODOS SE ENTREGO 01 ADAPTADOR CIGARRERA P= 21.62 ISC 2.01 IC 1.09 SALIDA 12.93V	11/02/2 020	23/02/20 20	Ate ndo	22/02/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	4.9
RF0007 0389- S001	0007 0389 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	HUARSAYA PACCO, WILBER	9415 4726 0	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Pomaqocha	Caja de Energía inoperativa	M04 SINIESTRO DESCARGA ADMOSFERIC A SOLUCION (T.E RETIRADA 0051337)(T.E NUEVA 00172403)2 DIODOS QUEMADOS SE ENTREGO 01 ADAPTADOR USB TIPO CIGARRERA VOC 21.86 V ISC 1.14 AMP IC 0.83 AMP SALIDA 14.15 V	30/01/2 020	11/02/20 20	Ate ndo	01/02/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	4.6

Codigo Falla	Suministro	RE R	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificaciónFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLímiteAtención	Estado	FechaAtención	DiasParaAtención	TipoCanal	Usuario	Distancia
RF0007 0185- S001	0007 0185 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	HACHATA QUISPE, LEANDRO	9833 1553 7	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Quellohuaylla	Caja de Energía inoperativa	M10 DECB INOPERATIVO CONTROLADO R BLOQUEADO SOLUCIÓN REEMPLAZO T.E RETIRADA 0057080)(T.E NUEVA 00171761) SE ENTREGO 01 ADAPTADOR USB TIPO CIGARRERA VOC 21.28 V ISC 1.60 AMP IC 1.10 AMP SALIDA 12.5 V	30/01/2 020	11/02/20 20	Ate ndi do	01/02/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	7.8
RF0007 0517- S001	0007 0517 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	QUISPE QUISPE, VICTORIA	9501 7168 0	RODOLFO CONDORI MAMANI	754 584 85	Cusco, Quispicanchi, Cusipata, Llactocancha	Caja de Energía inoperativa	M14 SIN OBSERVACIONES. SE ACTUALIZO A V13. VOC=21.52V ISC=1.02AMP IC=0.64AMP #976071505	22/01/2 020	03/02/20 20	Ate ndi do	24/01/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	5.3
RF0001 9770- S001	0001 9770 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	QUISPE CAÑARI, NICOLASA	9915 1897 9	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Quellohuaylla	Caja de Energía inoperativa	M10 DECB INOPERATIVO SE REEMPLAZO (T.E QUEMADO 0051576)(T.E NUEVA 00171819) USUARIO MANIPULO EL SFV. SE REINSTALACION LA INSTALACION INTERNA VOC 21.85 V ISC 1.53 AMP IC 0.60 AMP SALIDA 13.10 V	07/01/2 020	19/01/20 20	Ate ndi do	09/01/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	3.4

Codigo Falla	Suministro	RE R	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificaciónFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLímiteAtención	Estado	FechaAtención	DiasParaAtención	TipoCanal	Usuario	Distancia
RF0007 2432- S001	0007 2432 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	ANCCALLI HUITTOCCOLLO, BENITO		FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Mayuhuasi	Caja de Energía inoperativa	M12 SFV MANIPULADO INSTALACIÓN INTERNA FUE MANIPULADO POR USUARIO SE CORRIGIÓ LA INSTALACIÓN AC.V13 SE ENTREGO 01 ADAPTADOR USB TIPO CIGARRERA VOC 21.13 V ISC 3.68 AMP IC 1.18 AMP SALIDA 13.95 V	03/01/2 020	15/01/20 20	Ate ndi do	04/01/ 2020	12	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	1.7
RF0007 5623- S002	0007 5623 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	MUÑOZ LOAIZA, CERILA SEGUNDINA	9847 3869 4	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Camanti, San miguel	Cableado interno dañado	M08 EQUIPO MAYOR ROBADO PANEL-DC ENERGY BOX DECB USUARIO MANIFIESTA EL 30.11.19 LE ROBARON EL PANEL Y EL 05.12.19 LE ROBARON LA BATERÍA COMPLETA DCEB USUARIO PRESENTA CONSTATACION POLICIAL DEL PANEL	03/12/2 019	15/12/20 19	Ate ndi do	06/12/ 2019	12	Presenci al	CALL CENTE R	4.3
RF0007 0455- S001	0007 0455 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	QUISPE CAÑARI, GREGORIA	9632 3589 7	CEFERINO LLOCLLE CCAYOSI	402 908 64	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Queraccasa	Caja de Energía inoperativa	M10 DCEB INOPERATIVO. CONTROLADO R BLOQUEADO POR CORTO CIRCUITO. S. CONTROLADO R NUEVA:001896	22/10/2 019	29/10/20 19	Ate ndi do	24/10/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	17. 1

Codigo Falla	Suministro	RE R	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificacionFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLmiteAtencion	Estado	FechaAtencion	DiasParaAtencion	TipoCanal	Usuario	Distancia
										99 S. CONTROLADOR RETIRADA:005 7300 SE LE REEMPLAZO 01 LAMPARA LED. SE LE DEJO 01 ADAPTADOR CIGARRERA. IC= 3.07								
RF0001 9814-S001	0001 9814-S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	CURASI ROJO, ISABEL	9559 3406 5	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Pucacocha	Caja de Energia inoperativa	M11 PUERTO DATA USB INOPERATIVO SE ENTREGO UNA CIGARRERA DCEB ESTA OPERATIVO VOC 21.80 V ISC 1.20 AMP IC 0.99 AMP SALIDA 13.20 V	14/10/2 019	21/10/20 19	Ate ndi do	15/10/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	5.9
RF0001 9735-S002	0001 9735-S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	YAPURA CHINO, VICTOR RAUL	9462 8390 0	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Urincoscco	Caja de Energia inoperativa	(M11) PUERTO USB SE DEJA UNA CIGARRERA INOPERATIVO SE REINICIO CONTROLADOR Y DCEB QUEDA OPERATIVO VOC 21.80 ISC 2.40 AMP 1.40 SALIDA 13.5 V	21/08/2 019	28/08/20 19	Ate ndi do	24/08/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	5.8
RF0007 1792-S001	0007 1792-S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	QUISPE CANSAYA, ISABEL	9732 9643 8	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Pomaqocha	Caja de Energia inoperativa	(M10) DCEB INOPERATIVO CABLES CORTADOS EN EL CONTROLADOR MANIPULADO SE CAMBIO CON CONTROLADOR R 00171929	16/08/2 019	23/08/20 19	Ate ndi do	21/08/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	4

Codigo Falla	Suministro	RE R	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	Clasificacio nFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLmiteAtencion	Estado	FechaAtencion	DiasParaAtencion	TipoCanal	Usuario	Distancia
										0056286 VP 21.88 V ISC 7.42 AMP IC 2.05 AMP SALIDA 14.59 V								
RF0001 9822- S001	0001 9822 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	CCANAUIRE HUITTOCCOLLO, JUAN	9964 9676 8	FREDY HUAYHUA QUISPE	735 127 19	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Ccorimarca	Caja de Energia inoperativa	PORTA FUSIBLE DAÑADO PUERTO DATA INOPERATIVO SE DEJA 1 CIGARRERA SE CAMBIÓ CONTROLADO R S/N 0047832/001729 95 SE DEJA OPERATIVO V/P 21.87 V /ISC 5.14 AMP IC 4.58 AMP USUARIO QUEDA CONFORME.	23/07/2 019	30/07/20 19	Ate ndi do	26/07/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	CALL CENTE R	7.4
RF0007 3922- S001	0007 3922 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	CCOA ALMIDON, HERIBERTO	9506 0032 3	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Huaru, Chacha	Caja de Energia inoperativa	(M09) SE CAMBIO DCEB 00172573 RETIRADO 0075717+01 LED+ 01 SOCKET+02 DIODOS+06 ESTICKERS Y 01 ADAPTADOR TIPO CIGARRERA. P= 22.24V ICC 2.69 IC 1.55 SALIDA= 15V.	16/07/2 019	23/07/20 19	Ate ndi do	22/07/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	4.6
RF0007 5634- S002	0007 5634 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	DELGADO MAMANI, MIGUEL	9614 3606 8	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Coperma	Caja de Energia inoperativa	(M05) SE CAMBIO PANEL SPPEIP60777 RETIRADO 99661711280000 4177 Y SE PEGO 05 ESTICKERS. P= 17.21V ICC 1.25	16/07/2 019	23/07/20 19	Ate ndi do	22/07/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	35. 4

Codigo Falla	Suministro	RE R	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificacionFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLmiteAtencion	Estado	FechaAtencion	DiasParaAtencion	TipoCanal	Usuario	Distancia
										IC 0.61 SALIDA=12.43V								
RF0007 5634-S001	0007 5634-S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	DELGADO MAMANI, MIGUEL	9614 3606 8	ANTHONY VARGAS MORALES	000 176 57	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Coperma	Caja de Energia inoperativa	DCEB apagado, diodos, controlador y bateria dañado, por descarga atmosférica, se cambió energy box 69213 por 86784, panel=9.56V, Icc=1.28A, Ic=0.79A. Salida =13.04 V / 1.35 A. ambiente nublado.	27/05/2 019	03/06/20 19	Ate ndo	30/05/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	31. 2
RF0007 5632-S001	0007 5632-S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	FLORES QUISPE, BENITA	9749 4094 4	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Araza	Caja de Energia inoperativa	se encontro DCEB y PANEL inoperativo por rayo, se cambio DCEB 00148809 retirado 0072667+ 02 diodos+ 02 leds y se pego 05 estickers. P=18.32V Icc 2.01 Ic 1.21 Salida: 12.62V.	22/05/2 019	29/05/20 19	Ate ndo	25/05/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	8.9
RF0007 6241-S001	0007 6241-S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	AGUILAR GUERRA, LEOCADIO	9312 0978 5	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Pan de azucar	Caja de Energia inoperativa	se encontro DCEB Y PANEL inoperativo, se cambio un DCEB: 00104821 retirado 0096448+panel:9 96617112800004 009 retirado: 99661711020000 1211+02 leds y 07 antirrobo P=20.59V Icc 2.82 Ic 1.1	15/05/2 019	22/05/20 19	Ate ndo	18/05/ 2019	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	1.5

Codigo Falla	Suministro	RE R	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	ClasificacionFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLmiteAtencion	Estado	FechaAtencion	DiasParaAtencion	TipoCanal	Usuario	Distancia
										SALIDA: 12.45V								
RF0007 5631- S001	0007 5631 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	HIRPAHUANCA CHAMBI, OLIMPIA	9310 3910 7	ANTHONY VARGAS MORALES	000 176 57	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Yanamayo porvenir	Caja de Energía inoperativa	vivienda sin energía, se encontró falta de actualización, se realizó actualización de V11, y se restableció instalación de una luminaria, que estaba manipulada.	27/03/2 019	08/04/20 19	Ate ndi do	07/04/ 2019	12	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	7.7
RF0007 5623- S001	0007 5623 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	MUÑOZ LOAIZA, CERILA SEGUNDINA	9847 3869 4	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Camanti, San miguel	Caja de Energía inoperativa	se encontro DCEB inoperativo fusible quemado, se cambio 01 fusible, se cambio 01 led, se pego un esticker y se le actualizo a la V11. panel: 20.26V Icc 2.59 Ic 1.37 SALIDA: 14.12V.	14/03/2 019	26/03/20 19	Ate ndi do	23/03/ 2019	12	Presenci al	DISTRIBUIDO RA	12. 5
RF0007 5619- S001	0007 5619 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	SONCCO ARRIAGA, ISAMAR		DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Sirihua	Caja de Energía inoperativa	reporte no coincide, porta fusible desaflojado. V11 con éxito, se cambio 01 led, se pego 01 esticker. Panel: 20.04V Icc 2.12 Ic 1.81 SALIDA 12.71. se capacito al usuario en hacer el uso del SFV.	27/02/2 019	11/03/20 19	Ate ndi do	03/03/ 2019	12	Presenci al	DISTRIBUIDO RA	1.2
RF0007 5633- S001	0007 5633 -S	R E R 1	ELECTR O SUR ESTE	QUECAÑO CONCHA, ALFREDO	9947 5782 6	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Camanti, Araza	Caja de Energía inoperativa	reporte no coincide, la falla q tiene es cable flojo en caja de paso, V11 con éxito. se cambio 01 led,	19/02/2 019	03/03/20 19	Ate ndi do	03/03/ 2019	12	Presenci al	DISTRIBUIDO RA	11. 9

Codigo Falla	Suministro	REER	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	Clasificacio nFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLmiteAtencion	Estado	FechaAtencion	DiasParaAtencion	TipoCanal	Usuario	Distancia
										01interruptor, 01 bomera y 01 esticker. Panel: 20.35V Icc 3.37 Ic 1.01 SALIDA:13.76V .								
RF0001 9989-S001	0001 9989-S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CCOA CURASI, CONCEPCION	9747 2463 9	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Sachak huacos	Caja de Energía inoperativa	Se encontro puerto de DATA Y USB inoperativo, se cambio 01 controlador S/N 00136391, retirado S/N 0057314, se cambio 02 leds, se pego 04 estickers. Panel: 21.36V Icc 1.99 Ic 0.69 SALIDA: 12.65V.	14/02/2019	26/02/2019	Atendido	24/02/2019	12	Llamada Telefonica	DISTRIBUIDORA	2.3
RF0007 0441-S001	0007 0441-S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CURASI YAPURA, LEONARDA	9747 2463 9	DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Sachak huacos	Caja de Energía inoperativa	Reporte de falla no coincide, se encontro puerto de DATA Y USB inoperativo. se cambio 01 controlador S/N 00129797 ret. 0057115, se pego 04 estickers. Panel: 20.36V Icc1.79 Ic 1.03 SALIDA: 12.66V.	14/02/2019	26/02/2019	Atendido	24/02/2019	12	Llamada Telefonica	DISTRIBUIDORA	3.3
RF0001 8634-S001	0001 8634-S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CONDORI HULLCA, BENIGNO		DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Huaró, Chacha	Caja de Energía inoperativa	casa abierta, usuario reporto caja d energia inoperativo, el tipo d falla q tiene es q el fusible se a quemado/ se le cambio un fusible/ se actualizó a la V11/ panel: 99881801020001 1517.	28/11/2018	05/12/2018	Atendido	30/11/2018	7	Presencial	DISTRIBUIDORA	15.7



Codigo Falla	Suministro	REER	Distribuidora	Titular	Celular	Tecnico	DNI	Ubicacion	Clasificacio nFalla	C_Comentario	D_FechaRegistro	FechaLmiteAtencion	Estado	FechaAtencion	DiasParaAtencion	TipoCanal	Usuario	Distancia
RF0001 8300- S001	0001 8300 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	QQUENTA SARAYA, MARIA		DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Ceatca, Puñochina	Caja de Energia inoperativa	casa cerrada, usuario ausente, se realizó mantenimiento exterior/ VP: 21.11/ISC: 3.15/IC: 1.46.	05/11/2 018	12/11/20 18	Ate ndi do	08/11/ 2018	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	10. 8
RF0001 9939- S001	0001 9939 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	YUPANQUI CJAMARCA, FAUSTINO		DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Urincoscco	Caja de Energia inoperativa	casa cerrada, usuario ausente/ se realizó mantenimiento exterior/ Vpanel: 21.68v/ ISC: 2.29.	23/10/2 018	30/10/20 18	Ate ndi do	25/10/ 2018	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	3.8
RF0001 9763- S001	0001 9763 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	CCOA CURASI, WALBERTO		DANIEL MAYE HUANCA	476 019 95	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Sachak huacos	Caja de Energia inoperativa	casa abierta, usuario reporto q no cuenta con energia, la falla q tenia es q tenia una mala coneccion en el tablero d distribución se le deja operativo y se le capacito al usuario. conforme. Vllcon ex	13/08/2 018	20/08/20 18	Ate ndi do	18/08/ 2018	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	11. 8
RF0001 9735- S001	0001 9735 -S	REER 1	ELECTR O SUR ESTE	YAPURA CHINO, VICTOR RAUL	9462 8390 0	OSCAR CAHUANA VENTURA	418 210 91	Cusco, Quispicanchi, Quiquijana, Urincoscco	Caja de Energia inoperativa	Casa abierta. el usuario indico que no prende 02 lamparas. sé le cambio 01 lámpara, también en la otra lámpara se tenía una mala conexión en el soquet, no se puede descargar datos. quedó conforme.	13/07/2 018	20/07/20 18	Ate ndi do	20/07/ 2018	7	Llamada Telefoni ca	DISTRIBUIDO RA	4.8

<b>“CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS COMO SOPORTE PARA LA ELECTRIFICACION RURAL – QUISPICANCHIS 2021”</b>			
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variables</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En que medida los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar en que medida los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los sistemas fotovoltaicos autónomos son confiables como soporte para la electrificación rural en la provincia de Quispicanchis.</li> </ul>	<p>Confiabilidad. Soporte</p>
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿De que manera una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas unifica la influencia de la fiabilidad asociada a averías y problemas derivados de su mantenimiento?.</li> <li>• ¿De que manera influye un plan de mantenimiento preventivo para así brindar un servicio de calidad?</li> <li>• ¿En que medida, que por el pago efectuado obtendrán un buen servicio y contribuye con el bienestar y desarrollo de la población?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer de que manera una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas unifica la influencia de la fiabilidad asociada a averías y problemas derivados de su mantenimiento.</li> <li>• Proponer de que manera influye el mantenimiento preventivo a través de un plan para así brindar un servicio de calidad.</li> <li>• Determinar en que medida, que por el pago efectuado obtendrán un buen servicio y contribuye en el bienestar y desarrollo de la población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una herramienta de análisis de la confiabilidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas unifica altamente la influencia de la fiabilidad asociada a averías y problemas derivados de su mantenimiento.</li> <li>• El mantenimiento preventivo a través de un plan influye altamente para así brindar un servicio de calidad.</li> <li>• Por el pago efectuado obtendrán un buen servicio y contribuye en el bienestar y desarrollo de la población</li> </ul>	

Operacionalización de las variables	
confiabilidad	(HERNANDEZ SAMPIERI, FERNADEZ COLLADO, & BAPTISTA, 2010)“la confiabilidad de un instrumento de medición se determina mediante diversas técnicas, y se refieren al grado en la cual su aplicación repetida al mismo sujeto produce iguales resultados”.
soporte	(Juanita, 2021)El soporte es el servicio que provee una empresa a sus clientes, con el fin de que reciban ayuda acerca del uso de sus productos, ya sean físicos o digitales. Puede estar proporcionado directamente por la compañía o estar a manos de agentes especializados externos.

## ANEXO C: VISITA A LOS CENTROS POBLADOS DE QUISPICANCHIS



Figura 22 Foto (Fuente: Propia)



Figura 23 Batería de SFVA (Fuente: Propia)



Figura 25 Accesorios de SFVA (Fuente: Propia)



Figura 24 Accesorios de SFVA (Fuente: Propia)



Figura 26 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 27 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 28 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 29 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 30 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 31 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)





Figura 32 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 33 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 34 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 35 Familia beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 36 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)



Figura 37 Vivienda beneficiada con los SFVA (Fuente: Propia)