



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS
DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES
EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ – REGIÓN
AMAZONAS”**

Autor:

Br. ERIK LINFORD POCLÍN MAS

Asesor:

Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Marzo de 2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS
DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES
EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ – REGIÓN
AMAZONAS”**

Autor:

Br. ERIK LINFORD POCLÍN MAS

Aprobado por el Jurado Examinador:

PRESIDENTE:

SECRETARIO:

VOCAL:

ASESOR:

**LAMBAYEQUE – PERÚ
Marzo de 2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TÍTULO

**“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN
COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS
CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ –
REGIÓN AMAZONAS”.**

CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES.

AUTOR: Br. ERIK LINFORD POCLÍN MAS

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

**LAMBAYEQUE – PERÚ
Marzo de 2019**

DEDICATORIA

A mi mamá Victoria

Por todas sus enseñanzas, los valores aprendidos, por su fortaleza, por siempre brindarme su apoyo incondicional, por nunca dejar de creer, por sacar adelante a la familia y brindarnos a sus hijos la mejor herencia “la educación”, pero por sobre todo por haberme dado la vida y todo su amor.

A mi papá Luis (q.e.d.p)

Por ser mi inspiración, por prepararme para estar siempre presto, por ser el mejor guía y asentar las bases de la senda de mi vida, y por ser el mejor padre que un hijo podría tener.

A mis familiares

A mis hermanos Alex y Dayson por siempre estar pendientes de mí, a mis abuelos Marcelina y Pasión por el apoyo incondicional durante toda mi vida; a mi tía Maribel, a mis primos Zuly y Max quienes siempre me brindan confianza y su apoyo en todos los proyectos que emprendo.

Br. Erik Linford Poclín Mas

AGRADECIMIENTO

A la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), por haberme dado la formación académica necesaria para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.

A todo el personal docente que conforma la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, por todo el apoyo y conocimiento brindado en el proceso de mi formación universitaria.

A mi asesor Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra, por sus orientaciones, apoyo y conocimiento aportado en la realización de la presente tesis.

Al Ing. Melvin Levi García Díaz, por el apoyo que me brindó al compartir conmigo sus conocimientos durante todo el proceso de la realización de la presente tesis, pero por sobre todo por su gran amistad.

Br. Erik Linford Poclín Mas

RESUMEN

El objetivo general de la presente TESIS fue la implementación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades aisladas de La Jalca, El Verde, San José y Perla del Imaza, ubicados en la provincia de Bongará – Región Amazonas; debido a la realidad problemática existente de la falta de suministro eléctrico. El tipo de investigación fue aplicada, pues se trata de resolver un problema de la vida real aplicando los conocimientos de ingeniería. En el desarrollo de la presente TESIS se obtuvo que la energía promedio diaria proyectada para las comunidades son: La Jalca es de 307,00 Wh/día, El Verde es de 8 882,571 Wh/día, San José es de 11 293,429 Wh/día, y Perla del Imaza es de 16 345,429 W.h/día. Con respecto de la radiación solar se consultó cuatro fuentes: el Atlas Solar del SENAMHI, NASA, software METEONORM y THE WORK BANK, se pudo determinar la irradiación para calcular el sistema fotovoltaico de cada comunidad, bajo el criterio del mes crítico (o del mes peor). Para La Jalca 3,953 kWh/m²/día; El Verde 3,440 kWh/m²/día; San José 4,249 kWh/m²/día; y Perla del Imaza 3,440 kWh/m²/día. Se dimensionó y seleccionó los equipos para los sistemas fotovoltaicos de cada una de las comunidades utilizando paneles solares de la marca ERA SOLAR de 325 Wp (24 V), 300 Wp (24 V), 150 Wp (12V) y la marca BAUER de 330 Wp (24 V); las baterías de plomo ácido y GEL; los controladores de la marca MUST SOLAR PWM; e inversores controladores MPPT de la MARCA MUST SOLAR de 4 000 W y 5 000 W; los conductores eléctricos para las redes secundarias 1x16/25. El costo total de los sistemas fotovoltaicos y redes secundarias para cada una de las comunidades es de: comunidad La Jalca S/. 36 668,38; comunidad El Verde S/. 132 018,75; comunidad San José S/. 194 064,44; comunidad Perla del Imaza S/. 216 565,93.

Palabras clave: Irradiación solar, inversor, batería, controlador, módulo fotovoltaico.

ABSTRACT

The general objective of this THESIS was the implementation of photovoltaic systems in the isolated communities of La Jalca, El Verde, San José and Perla del Imaza, located in the province of Bongará - Amazonas Region; due to the existing problematic reality of the lack of electricity supply. The type of research was applied, since it is about solving a real-life problem by applying engineering knowledge. In the development of the present THESIS it was obtained that the average daily energy projected for the communities are: La Jalca is 307,00 Wh / day, El Verde is 8 882,571 Wh / day, San José is 11 293,429 Wh / day, and Perla del Imaza is 16 345,429 Wh / day. With respect to solar radiation, four sources were consulted: the Solar Atlas of SENAMHI, NASA, METEONORM software and THE WORK BANK. Irradiation could be determined to calculate the photovoltaic system of each community, under the criterion of the critical month (or month). worst). For La Jalca 3,953 kWh / m² / day; The Green 3,440 kWh / m² / day; San José 4,249 kWh / m² / day; and Perla del Imaza 3,440 kWh / m² / day. The equipment for the photovoltaic systems of each of the communities was dimensioned and selected using solar panels of the ERA SOLAR brand of 325 Wp (24 V), 300 Wp (24 V), 150 Wp (12V) and the BAUER brand of 330 Wp (24 V); lead acid batteries and GEL; the drivers of the MUST SOLAR PWM brand; and inverters MPPT drivers of the MARK MUST SOLAR of 4,000 W and 5 000 W; electric conductors for secondary networks 1x16 / 25. The total cost of photovoltaic systems and secondary networks for each of the communities is: La Jalca community S /. 36 668,38; El Verde community S /. 132 018,75; San José community S /. 194 064,44; Perla del Imaza community S /. 216 564,93.

Keywords: Solar irradiation, inverter, battery, controller, photovoltaic module.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
GLOSARIO DE ABREVIACIONES	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema.....	5
1.3. Delimitación de la Investigación	5
1.3.1. Delimitación espacial	5
1.3.2. Delimitación temporal	10
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS.....	10
1.4.1. Justificación Científica	10
1.4.2. Justificación Ambiental	11
1.4.3. Justificación Social	11
1.5. Limitaciones de la TESIS	11
1.6. Objetivos de la TESIS	11
1.6.1. Objetivo General.....	11
1.6.2. Objetivos Específicos	12
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes de Estudios.....	13
2.1.1. Contexto Internacional.....	13
2.1.2. Contexto Nacional	15
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado.	19
2.2.1. Energía.....	19
2.2.1.1. Fuentes de energía	21
2.2.1.1.1. De acuerdo con su capacidad de regeneración	21
2.2.1.1.2. De acuerdo a su utilización.....	23
2.2.1.2. Energía solar	24
2.2.1.2.1. Radiación solar	25
2.2.1.2.2. Horas de Sol Pico (H.S.P.)	26
2.2.1.3. Electricidad.....	27
2.2.1.3.1. Centrales térmicas.....	28
2.2.1.3.2. Centrales nucleares.....	28
2.2.1.3.3. Centrales hidroeléctricas.	29

2.2.1.3.4. Centrales de energías renovables no convencionales.....	29
2.2.1.4. Sistema de suministro eléctrico	30
2.2.1.4.1. Generación	30
2.2.1.4.2. Transmisión	31
2.2.1.4.3. Distribución.....	31
2.2.2. Principios de la transformación fotovoltaica	32
2.2.2.1. Corriente eléctrica	32
2.2.2.1.1. Intensidad de la corriente eléctrica	33
2.2.2.1.2. Ley de Ohm	33
2.2.2.1.3. Agrupación de resistencias en serie y paralelo	34
2.2.2.1.4. Potencia eléctrica	35
2.2.2.2. Estructura de la materia.....	36
2.2.2.2.1. El enlace metálico.....	36
2.2.2.2.2. Los semiconductores.....	39
2.2.2.2.3. La unión p-n.....	42
2.2.3. Instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a la red eléctrica.....	43
2.2.3.1. Instalaciones aisladas de las redes eléctricas/ autónomas	43
2.2.3.1.1. Sistema individual aislado de la red	45
2.2.3.1.2. Sistema centralizado aislado de la red.....	47
2.2.3.2. Sistemas conectados a la red eléctrica.....	48
2.2.4. Componentes de los Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	49
2.2.4.1. Subsistema de generación	49
2.2.4.1.1. La Célula fotovoltaica	49
2.2.4.1.2. El módulo fotovoltaico.....	54
2.2.4.1.3. Efectos de la variación de la irradiancia y la temperatura	60
2.2.4.1.4. Tipos de conexión de módulos	62
2.2.4.2. Subsistema de acumulación	64
2.2.4.2.1. Características eléctricas:.....	65
2.2.4.2.2. Componentes del acumulador	71
2.2.4.2.3. Tipos de acumuladores.....	74
2.2.4.2.4. Asociación de acumuladores	76
2.2.4.3. Subsistema de Control	76
2.2.4.4. Subsistema de Conversión	78
2.2.4.5. Estructura de soporte de los MFV	80
2.2.4.6. Otros dispositivos	81
2.2.4.6.1. Fusibles	81
2.2.4.6.2. Interruptores automáticos magnetotérmicos	82
2.2.4.6.3. Cableado	82
2.2.4.6.4. Contadores de energía	82
2.2.4.6.5. Temporizadores y programadores	82
2.2.4.6.6. Accesorios	82
2.2.5. Dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos.....	83
2.2.5.1. Determinación de las necesidades a cubrir	83
2.2.5.1.1. Proyección de la población y viviendas.....	85
2.2.5.1.2. Cálculo de la potencia y máxima demanda.....	87
2.2.5.2. Condiciones de irradiación solar.....	88
2.2.5.3. Dimensionamiento del sistema de acumulación	90
2.2.5.4. Dimensionamiento del sistema de generación.....	92

2.2.5.5.	Dimensionamiento del sistema de regulación.....	93
2.2.5.6.	Dimensionamiento del sistema de conversión DC/AC	93
2.2.5.7.	Determinación de la orientación del generador fotovoltaico	93
2.2.5.8.	Cálculo de la distancia mínima entre filas de los MFV	94
2.2.5.9.	Dimensionamiento de conductores.....	95
2.2.5.10.	Fusibles.....	98
2.2.5.11.	Redes de distribución secundaria.....	98
2.3.	Definición conceptual de la terminología empleada.....	99
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		101
3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	101
3.1.1.	Según el objetivo de la investigación	101
3.1.2.	Según el conocimiento del objeto de estudio	101
3.1.3.	Según el grado de manipulación de variables.....	102
3.2.	Población y muestra	102
3.3.	Hipótesis	103
3.4.	Operacionalización de variables	103
3.5.	Métodos y técnicas de investigación	105
3.5.1.	Método de investigación	105
3.5.2.	Técnicas de investigación.....	105
3.5.2.1.	La observación	105
3.5.2.2.	La entrevista.....	106
3.5.2.3.	Análisis documental.....	108
3.6.	Descripción de los instrumentos utilizados	109
3.7.	Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	109
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....		111
4.1.	Módulo fotovoltaico	111
4.2.	Controlador de carga.....	114
4.3.	Banco de baterías	114
4.4.	El inversor	117
4.5.	Redes de distribución secundaria.....	120
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....		121
5.1.	Determinación de la máxima demanda.....	121
5.1.1.	Comunidad La Jalca	121
5.1.2.	Comunidad El Verde.....	122
5.1.3.	Comunidad San José	124
5.1.4.	Comunidad Perla del Imaza.....	127
5.2.	Determinación de la radicación solar promedio	129
5.2.1.	Comunidad La Jalca	129
5.2.2.	Comunidad El Verde.....	130
5.2.3.	Comunidad San José	131
5.2.4.	Comunidad Perla del Imaza.....	132
5.3.	Selección de los equipos y componentes.....	133
5.3.1.	Sistema fotovoltaico.....	133
5.3.1.1.	Comunidad La Jalca.....	133

5.3.1.2.	Comunidad El Verde	137
5.3.1.3.	Comunidad San José	140
5.3.1.4.	Comunidad Perla del Imaza.....	143
5.3.2.	Redes secundarias	146
5.3.2.1.	Cálculos eléctricos.....	147
5.3.2.1.1.	Capacidad de corriente.....	147
5.3.2.1.2.	Caída de tensión.....	148
5.3.2.2.	Cálculos mecánicos.....	153
5.4.	Determinación del presupuesto referencial.....	157
5.4.1.	Sistema fotovoltaico.....	157
5.4.1.1.	Comunidad La Jalca.....	158
5.4.1.2.	Comunidad El Verde	159
5.4.1.3.	Comunidad San José	160
5.4.1.4.	Comunidad Perla del Imaza.....	161
5.4.2.	Redes secundarias	162
5.4.2.1.	Comunidad El Verde	162
5.4.2.2.	Comunidad San José	166
5.4.2.3.	Comunidad Perla del Imaza.....	169
5.4.3.	Costos totales de electrificación.....	173
5.4.3.1.	Comunidad La Jalca.....	173
5.4.3.2.	Comunidad El Verde	174
5.4.3.3.	Comunidad San José	174
5.4.3.4.	Comunidad Perla del Imaza.....	174
CAPITULO VI: CONCLUSIONES		175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		177
ANEXOS		180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Acceso de la población bongareña al servicio público de electricidad.....	4
Tabla 2: Ubicación de las comunidades consideradas en la investigación.....	7
Tabla 3: Identificación de los sistemas fotovoltaicos.	83
Tabla 4: Población de la provincia de Bongará.	86
Tabla 5: Tasa de crecimiento en Bongará.....	86
Tabla 6: Determinación de los consumos unitarios.	87
Tabla 7: Determinación de la potencia y energía máxima instalada.....	88
Tabla 8: Datos de irradiación solar diaria/mes.	89
Tabla 9: Condiciones de irradiación solar escogido.	90
Tabla 10: Selección del nivel de tensión de un SFV.	91
Tabla 11: Operacionalización de variables.....	104
Tabla 12: Técnicas e instrumentación utilizados.	109
Tabla 13: Propuesta de MFV para la comunidad La Jalca.....	112
Tabla 14: Propuesta de MFV para la comunidad de El Verde y San José.	112
Tabla 15: Propuesta de MFV para la comunidad Perla del Imaza.....	113
Tabla 16: Propuesta de controlador de carga para la comunidad La Jalca.	114
Tabla 17: Propuesta de batería para la comunidad La Jalca.....	115
Tabla 18: Propuesta de batería para la comunidad El Verde.	115
Tabla 19: Propuesta de batería para la comunidad San José.....	116
Tabla 20: Propuesta de batería para la comunidad Perla del Imaza.	117
Tabla 21: Propuesta de inversor para a comunidad La Jalca.....	117
Tabla 22: Propuesta de inversor para la comunidad El Verde.....	118
Tabla 23: Propuesta de inversor para las comunidades San José y Perla del Imaza.....	119
Tabla 24: Datos de identificación comunidad La Jalca.....	121
Tabla 25: Proyección de población y vivienda comunidad La Jalca.	121
Tabla 26: Consumos unitarios de la comunidad La Jalca.	121
Tabla 27: Potencia y energía total por vivienda comunidad La Jalca.	122
Tabla 28: Datos de identificación comunidad El Verde.	122
Tabla 29: Proyección de población y vivienda comunidad El Verde.....	123
Tabla 30: Consumos unitarios de la comunidad El Verde.....	123
Tabla 31: Potencia y energía total de la instalación, comunidad El Verde.....	124
Tabla 32: Datos de identificación comunidad San José.	124
Tabla 33: Proyección de población y vivienda comunidad San José.....	125
Tabla 34: Consumos unitarios de la comunidad San José.....	125
Tabla 35: Potencia y energía total de la instalación, comunidad San José.	126

Tabla 36: Datos de identificación comunidad Perla del Imaza.	127
Tabla 37: Proyección de población y vivienda comunidad Perla del Imaza.....	127
Tabla 38: Consumos unitarios de la comunidad Perla del Imaza.	127
Tabla 39: Potencia y energía total de la instalación, comunidad Perla del Imaza.....	129
Tabla 40: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad La Jalca.	129
Tabla 41: Condiciones de irradiación elegido, comunidad La Jalca.	130
Tabla 42: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad El Verde.....	130
Tabla 43: Condiciones de irradiación elegido, comunidad El Verde.	131
Tabla 44: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad San José.....	131
Tabla 45: Condiciones de irradiación elegido, comunidad San José.....	132
Tabla 46: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad Perla del Imaza.	132
Tabla 47: Condiciones de irradiación elegido, comunidad Perla del Imaza.	133
Tabla 48: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad La Jalca.....	133
Tabla 49: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad La Jalca..	134
Tabla 50: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad La Jalca.	134
Tabla 51: Elección del MFV y características del sistema, comunidad La Jalca.....	135
Tabla 52: Dimensionamiento del sistema de regulación, comunidad La Jalca.	135
Tabla 53: Elección del regulador y características del sistema, comunidad La Jalca.	136
Tabla 54: Dimensionamiento del sistema de inversión, comunidad La Jalca.	136
Tabla 55: Elección del inversor, comunidad La Jalca.....	136
Tabla 56: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad El Verde.	137
Tabla 57: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad El Verde.	137
Tabla 58: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad El Verde.....	138
Tabla 59: Elección del MFV y características del sistema, comunidad El Verde.	138
Tabla 60: Dimensionamiento del Inversor-regulador MPPT, comunidad El Verde.	139
Tabla 61: Elección del inversor-regulador MPPT, comunidad El Verde.	140
Tabla 62: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad San José.....	140
Tabla 63: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad San José.	141
Tabla 64: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad San José.	141
Tabla 65: Elección del MFV y características del sistema, comunidad San José.....	142
Tabla 66: Dimensionamiento del Inversor-regulador MPPT, comunidad San José.	142
Tabla 67: Elección del inversor-regulador MPPT, comunidad San José.	143
Tabla 68: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad Perla del Imaza.	143

Tabla 69: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad Perla del Imaza.....	144
Tabla 70: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad Perla del Imaza...	144
Tabla 71: Elección del MFV y características del sistema, comunidad Perla del Imaza.	145
Tabla 72: Dimensionamiento del Inversor-regulador MPPT, comunidad Perla del Imaza.	145
Tabla 73: Elección del inversor-regulador MPPT, comunidad Perla del Imaza.....	146
Tabla 74: Verificación del conductor propuesto por capacidad de corriente eléctrica....	147
Tabla 75: Caída de tensión comunidad San José C-I.	149
Tabla 76: Caída de tensión comunidad San José C-II.	149
Tabla 77: Caída de tensión comunidad Perla del Imaza C-I.....	151
Tabla 78: Caída de tensión comunidad Perla del Imaza C-II.....	151
Tabla 79: Caída de tensión comunidad El Verde C-I.....	153
Tabla 80: Distancia mínimas del conductor a la superficie del terreno.	153
Tabla 81: Parámetros eléctricos de cables autoportantes.....	154
Tabla 82: Hipótesis para usar la ecuación de TRUXA.....	155
Tabla 83: Tabla de cálculos mecánicos.	156
Tabla 84: Características de los cables autoportantes.	157
Tabla 85: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad La Jalca.....	158
Tabla 86: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico La Jalca.	158
Tabla 87: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad El Verde.	159
Tabla 88: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico El Verde.....	160
Tabla 89: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad San José.	160
Tabla 90: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico San José.....	161
Tabla 91: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad Perla del Imaza.....	161
Tabla 92: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico Perla del Imaza.	162
Tabla 93: Presupuesto referencial suministro de materiales RS, comunidad El Verde...	162
Tabla 94: Presupuesto referencial montaje de materiales RS, comunidad El Verde.	165
Tabla 95: Presupuesto referencial red secundaria El Verde.....	165
Tabla 96: Presupuesto referencial suministro de materiales RS, comunidad San José.	166
Tabla 97: Presupuesto referencial montaje de materiales RS, comunidad San José.	168
Tabla 98: Presupuesto referencial red secundaria San José.	169
Tabla 99: Presupuesto referencial suministro de materiales RS, comunidad Perla del Imaza.....	169
Tabla 100: Presupuesto referencial montaje de materiales RS, comunidad Perla del Imaza.	172
Tabla 101: Presupuesto referencial red secundaria Perla del Imaza.....	173

Tabla 102: Presupuesto referencial total electrificación comunidad La Jalca.	173
Tabla 103: Presupuesto referencial total electrificación comunidad El Verde.....	174
Tabla 104: Presupuesto referencial total electrificación comunidad San José.....	174
Tabla 105: Presupuesto referencial total electrificación comunidad Perla del Imaza.....	174
Tabla 106: Máxima demanda y energía eléctrica proyectada.	175
Tabla 107: Irradiación solar para cada una de las comunidades.....	175
Tabla 108: Costo total electrificación para cada comunidad.....	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Población peruana con acceso a electricidad (2012-2016).	3
Figura 2: Causas y efectos de la realidad problemática.	5
Figura 3: Ubicación geográfica de las comunidades en Bongará.	6
Figura 4: Experimento de Joule.	19
Figura 5: Energías renovables.	22
Figura 6: Energías no renovables.	23
Figura 7: Aplicación de la energía solar fotovoltaica.	25
Figura 8: Espectro electromagnético de la radiación solar.	26
Figura 9: Concepto de Horas Sol Pico.	27
Figura 10: Diagrama esquematizado del sistema de suministro eléctrico.	32
Figura 11: Circulación de corriente en un conductor.	33
Figura 12: Esquema básico de un circuito en serie.	34
Figura 13: Esquema básico de un circuito en serie.	35
Figura 14: Esquema del modelo de gas-electrónico.	37
Figura 15: Estructura cristalina del silicio.	39
Figura 16: Silicio con impureza pentavalente.	41
Figura 17: Silicio con impureza trivalente.	41
Figura 18: La unión p-n.	42
Figura 19: Instalación aislada con corriente continua.	45
Figura 20: Instalación aislada con corriente continua y alterna.	46
Figura 21: Instalación aislada con corriente alterna.	47
Figura 22: Instalación centralizada aislada de la red eléctrica.	47
Figura 23: Sistema fotovoltaico conectado a red.	48
Figura 24: Configuración de una célula solar.	50
Figura 25: Fabricación del silicio hasta su montaje en módulos.	52
Figura 26: Corte transversal de un MFV.	55
Figura 27: Curvas características V-I (línea verde) y V-P (línea azul).	57
Figura 28: Efecto de la irradiancia sobre la curva V-I.	61
Figura 29: Efecto de la temperatura sobre la curva V-I.	62
Figura 30: Conexión en serie de MFV.	63
Figura 31: Conexión en paralelo de MFV.	63
Figura 32: Conexión en serie/paralelo de MFV.	64
Figura 33: Estadios de carga de un acumulador.	65
Figura 34: Dependencia de V_{fc} con la corriente de carga.	66
Figura 35: Dependencia de V_{fc} con la temperatura de carga.	67

Figura 36: Perfil de descarga de un acumulador.....	67
Figura 37: Influencia de la corriente en la descarga de un acumulador.....	68
Figura 38: Influencia de la temperatura en la descarga de un acumulador.	68
Figura 39: Componentes de un acumulador de Pb-a.	73
Figura 40: Formas de ondas de corriente alterna (50 Hz).	79
Figura 41: Clasificación de las estructuras de soporte de los MFV.	80
Figura 42: Estructura fija sobre el suelo.....	81
Figura 43: Población en Bongará según censo de 1993.	85
Figura 44: Población en Bongará según censo de 2005.	85
Figura 45: Población en Bongará según censo de 2007.....	86
Figura 46: Población en Bongará según censo de 2017.	86
Figura 47: Distancia mínima entre filas de MFV.....	94
Figura 48: Cálculo de la sección del conductor por caída de tensión.	97
Figura 49: Entrevista con pobladora de La Jalca.	106
Figura 50: Recolección de datos en I.E. N° 18443-San José.....	107
Figura 51: Entrevista con poblador de la Perla del Imaza.	107
Figura 52: Entrevista con pobladora de El Verde.	108
Figura 53: Flujograma para el desarrollo de la propuesta.	120
Figura 54: Diagrama de carga de la comunidad San José.....	148
Figura 55: Diagrama de carga de la comunidad Perla del Imaza.....	150
Figura 56: Diagrama de carga de la comunidad El Verde.....	152

GLOSARIO DE ABREVIACIONES

Δ	Variación de una magnitud.
\hat{a}	Acimut.
a	Ancho.
α	Coefficiente intensidad – temperatura.
AC_t	Número de acumuladores total.
AC_s	Número de acumuladores en serie.
AC_p	Número de acumuladores en paralelo.
AM	Masa del aire.
β	Coefficiente tensión – temperatura.
β_{opt}	Ángulo de inclinación óptimo (OPTA).
BC	Banda de Conducción.
BV	Banda de Valencia.
C	Velocidad de la luz (299 792 458 m/s).
C_{ac}	Capacidad del sistema de acumulación.
C_{máx}	Capacidad máxima del acumulador, con el acumulador elegido.
C_x	Capacidad del vaso.
CC	Corriente continua.
CA	Corriente alterna.
CEM	Condiciones Estándar de Medida.
CPV2017	Censo de Población y Vivienda 2017.
CR_{MFV}	Coefficiente de rendimiento energético de MFV.
DA	Periodo de autonomía (días).
DOD	Profundidad de descarga (% , porcentaje).

E	Energía (J, joules), energía eléctrica (Wh – kWh, watt-hora – kilowatt-hora).
E_G	Energía de Gap.
E_t	Energía total del SFV.
ENAHO	Encuesta Nacional de Hogares.
ET	Energía consumida por el sistema de acumulación.
eV	Electrón voltio (V, Voltio).
EVA	Etil Vinil Acetato.
f	Fondo.
F_s	Factor de seguridad.
FF	Factor de forma.
G	Irradiación solar (kWh/m ² , kilowatt hora por metro cuadrado).
GF	Generador fotovoltaico.
GTI	Irradiación solar óptima.
h	Alto.
H.S.P	Horas solar pico.
i	Índice de crecimiento poblacional.
I	Intensidad de corriente eléctrica (A, amperio).
I_{G ppm}	Intensidad en el PPM del generador.
I_{G sc}	Intensidad de corto circuito del generador.
I_{ppm}	Intensidad en el punto de potencia máxima (A, amperio).
I_{R máx}	Intensidad máxima del sistema de regulación.
I_{sc}	Corriente de corto circuito (A, amperio).
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
INV_t	Número total de inversores.

INV_p	Número de inversores en paralelo.
kW_p	Kilowatt pico.
m	Masa (kg, kilogramo).
MFV	Módulo fotovoltaico.
MFV_p	Número de MFV en paralelo.
MFV_s	Número de MFV en serie.
MFV_t	Número de MFV total.
η	Eficiencia o rendimiento (%).
n	Número de años a proyectar.
NV	Número de viviendas.
NV_n	Número de viviendas proyectadas.
P	Potencia eléctrica (W, watt).
P_G	Potencia del generador fotovoltaico.
P_{máx}	Potencia máxima o de pico de los MFV (Wp, watt pico).
P_t	Potencia total del SFV.
PD_{máx}	Profundidad de descarga máxima (% , porcentaje).
PO	Población inicial.
PO_n	Población proyectada.
PPM	Punto de potencia máxima.
PR_{ac}	Pérdidas por rendimiento del acumulador.
Q	Carga eléctrica (C, Coulomb).
R	Resistencia eléctrica (Ω, ohm).
R_{MFVp}	Número de ramas de MFV por regulador.
R_p	Número de reguladores en paralelo.
R_t	Número de reguladores total.

SOC	Estado de carga de la batería o acumulador.
SVF	Sistema fotovoltaico.
T	Temperatura (°C, grados Celsius).
t	Tiempo (s, segundos).
ta	tiempo de autonomía.
td	tiempo de uso diario.
TONC	Temperatura Normal de Operación (°C, grados Celsius).
V	Tensión (V, Voltios).
V_{bat}	Tensión de la batería.
V_{G oc}	Tensión de circuito abierto del generador.
V_{G ppm}	Tensión en el PPM del generador.
V_{oc}	Tensión de circuito abierto.
V_{ppm}	Tensión en el punto de potencia máxima.
W	Trabajo (J, Joule).
X	Régimen de descarga.
X_{mín}	Régimen de descarga mínimo.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ – REGIÓN AMAZONAS”**.

Es una investigación que permite promover el uso de las energías renovables no convencionales, como es la energía solar fotovoltaica en cuatro comunidades de la Provincia de Bongará.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en las comunidades en las cuales existe carencia de energía eléctrica. A continuación, se enuncia el Problema, para luego Justificar el trabajo de investigación realizado y presentar los Objetivos de la Investigación.

En el Capítulo II, se presenta el Marco Teórico, donde se muestran los antecedentes y la teoría relacionada con el tema de investigación.

En el Capítulo III, se presenta el Marco Metodológico, en el cual se describe el diseño de la Investigación; es decir, la forma como se van a obtener los datos y procesarlos, describiendo las Variables y su Operacionalización, así como la población, además de las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación, así como los Métodos de Análisis de Datos.

En el Capítulo IV, se presenta los componentes de los sistemas fotovoltaicos propuestos.

En el Capítulo V, se presenta los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados.

En el Capítulo VI, se presenta las Conclusiones.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

Actualmente las redes eléctricas convencionales no llegan a comunidades alejadas, las cuales se encuentran total o parcialmente aisladas geográficamente; en los que los pobladores se ven rezagados a utilizar energía eléctrica y como consecuencia esta población tiene limitaciones respecto a educación, salud y tecnología. Desde luego, consideramos que el empleo de la energía eléctrica es indispensable para el desarrollo del país y mejorar la calidad de vida de la población.

“La energía hace posible las inversiones, la innovación y las nuevas industrias que son los motores de la creación de empleo y del crecimiento para economías enteras. Hoy en día, a nivel mundial cerca de 1000 millones de personas aún viven sin electricidad, y cientos de millones más viven con un suministro insuficiente o poco fiable. Al mismo tiempo, aproximadamente 3000 millones de personas utilizan combustibles contaminantes como leña u otra biomasa para cocinar o calefaccionar sus viviendas, lo que genera contaminación del aire en espacios abiertos y cerrados que tiene impactos generalizados en la salud”. (Grupo Banco Mundial 2018)

De acuerdo a la base de datos de Energía Sostenible para Todos (SE4ALL) del Marco de Seguimiento Mundial de SE4ALL liderado de forma conjunta por el Banco Mundial, la Agencia Internacional de la Energía y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía (octubre 2018), al 2016 las estadísticas muestran que el porcentaje de población mundial con acceso a la electricidad es de 87,378%;

en tanto, el porcentaje de población mundial en el sector rural con acceso a este servicio es de 77,487% y en el sector urbano es de 96,901%.¹

Así mismo, en la publicación digital Compendio Estadístico Perú 2017 - Capítulo 17, del Instituto Nacional de Estadística e Informática (agosto 2017)², la población peruana en porcentaje que tiene luz eléctrica en su hogar ha evolucionado de acuerdo con la siguiente figura:

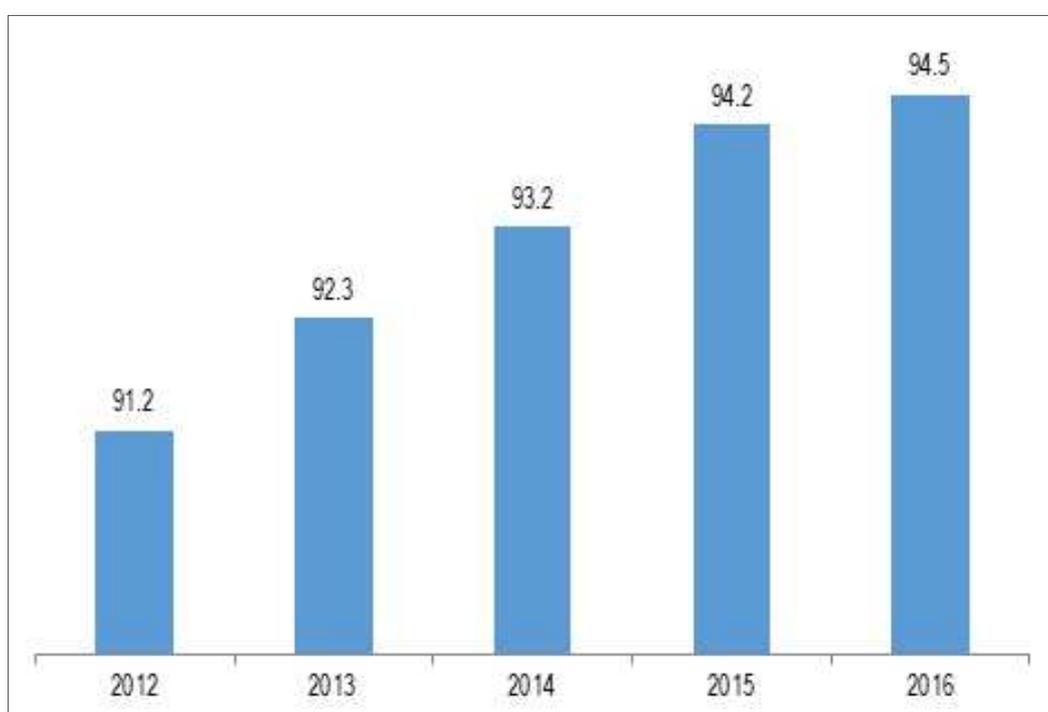


Figura 1: Población peruana con acceso a electricidad (2012-2016).
Fuente: INEI – ENAHO.

En la misma publicación, también se aprecia que la población del departamento de Amazonas que tiene el servicio público de electricidad en su hogar, al año 2016 es del 77,1%.

¹ <https://datos.bancomundial.org/tema/energia-y-mineria>

² https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1483/index.html

En tanto, de acuerdo con el sistema de consulta de base de datos de los resultados del Censo Nacional 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas; la provincia de Bongará consta de un total de 25 637 habitantes, de los cuales sólo 20 543 tienen acceso a la electricidad en su hogar, mientras que 4106 habitantes carecen de este vital servicio, de los cuales son 3249 personas quienes viven en áreas rurales³. El detalle de esta información se aprecia en el Cuadro 1, mostrado según el tipo de área, sexo y acceso al servicio de electricidad.

Tabla 1: Acceso de la población bongareña al servicio público de electricidad.

AREA # 0103 Amazonas, prov. de Bongará				
Tipo de área de encuesta	V: La vivienda tiene alumbrado eléctrico por red pública	P: Según Sexo		
Urbano de encuesta		Hombre	Mujer	Total
	Si tiene alumbrado eléctrico	5 183	5 547	10 730
	No tiene alumbrado eléctrico	411	446	857
	Total	5 594	5 993	11 587
Rural de encuesta		Hombre	Mujer	Total
	Si tiene alumbrado eléctrico	4 842	4 971	9 813
	No tiene alumbrado eléctrico	1 709	1 540	3 249
	Total	6 551	6 511	13 062
Total		Hombre	Mujer	Total
	Si tiene alumbrado eléctrico	10 025	10 518	20 543
	No tiene alumbrado eléctrico	2 120	1 986	4 106
	Total	12 145	12 504	24 649
No Aplica:	988			

Fuente: INEI – CPV2017.

³ “Preguntas de Vivienda, Hogar y Población”, Instituto Nacional de Estadística e Informática, acceso 15 de enero de 2019, <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>.

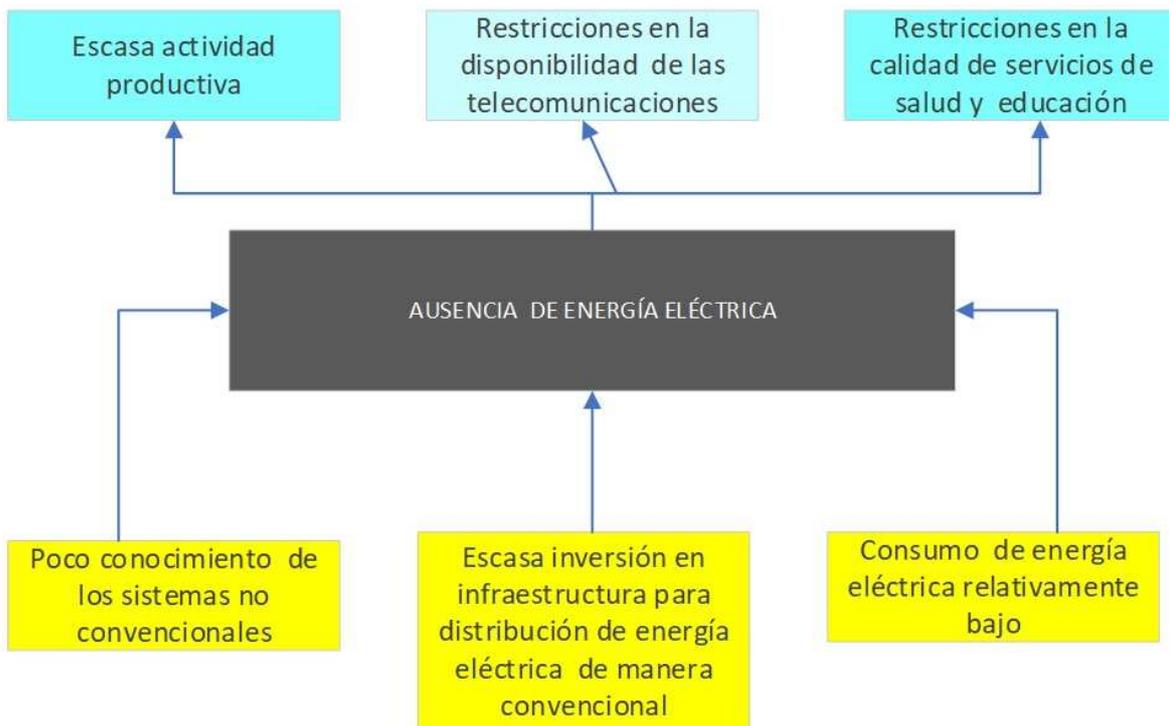


Figura 2: Causas y efectos de la realidad problemática.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

1.2. Formulación del Problema

¿La energía solar será suficiente para implementar sistemas fotovoltaicos en las comunidades aisladas de La Jalca, Perla del Imaza, San José y El Verde en la provincia de Bongará de la región Amazonas?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El presente trabajo de investigación se desarrolló en cuatro comunidades ubicadas en tres distritos de la provincia de Bongará, región Amazonas.

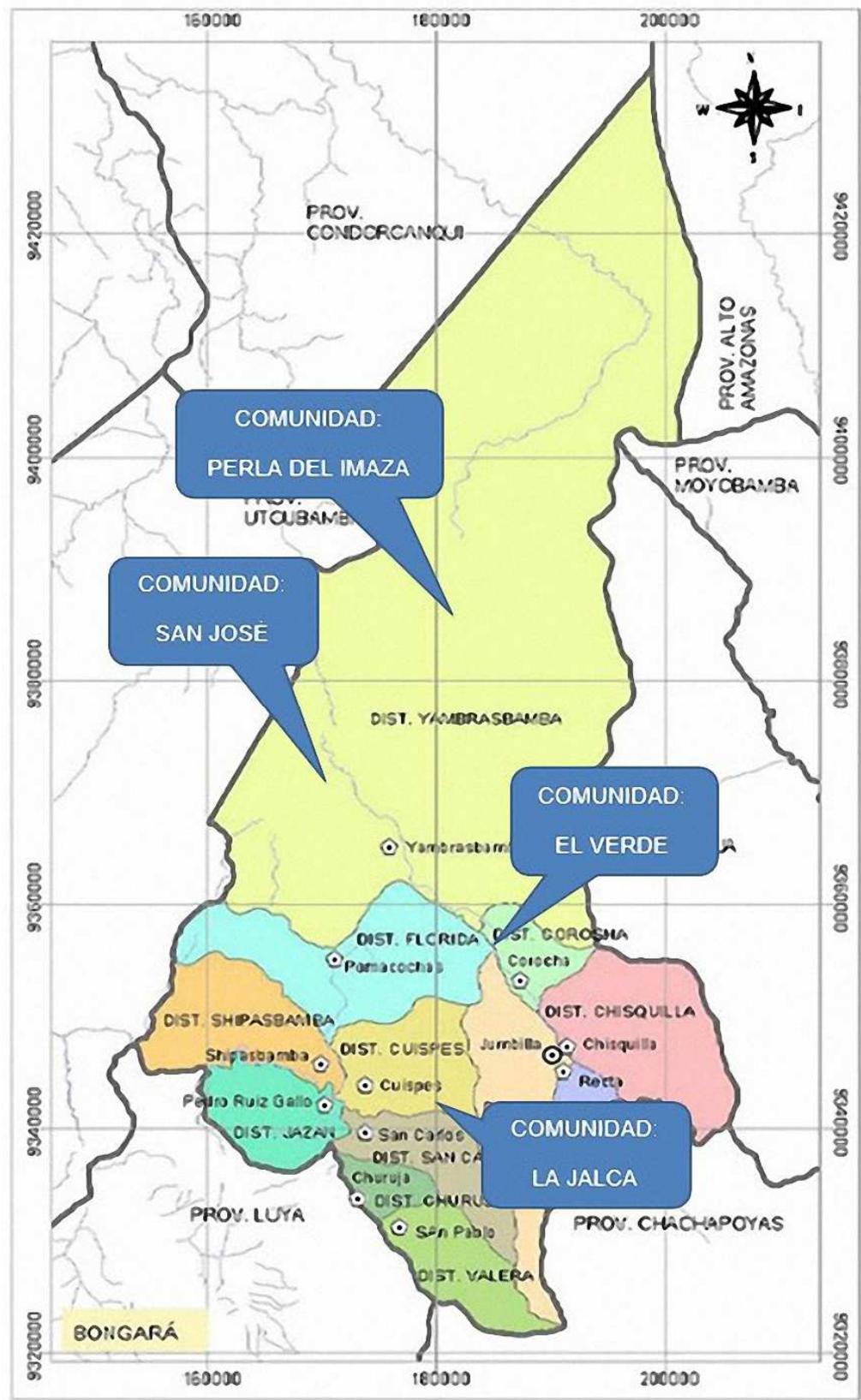


Figura 3: Ubicación geográfica de las comunidades en Bongará.

Fuente⁴

⁴ “Datos estadísticos de la provincia”, Municipalidad Provincial de Bongará, consulta 15 de enero de 2019, <http://munibongara.gob.pe/index.php/municipalidad/item/4-datos-estadisticos-de-la-provincia>.

Tabla 2: Ubicación de las comunidades consideradas en la investigación.

Comunidad	La Jalca	Perla del Imaza	San José	El verde
Distrito	Cuispes	Yambrasbamba	Yambrasbamba	Corosha
Provincia	Bongará	Bongará	Bongará	Bongará
Región	Amazonas	Amazonas	Amazonas	Amazonas
Latitud	-5.945064	-5.589786	-5.684094	-5.819989
Longitud	-77.913340	-77.968516	-78.024135	-77.863640
Población	17	83	67	61

Fuente: Elaborado a partir de datos de las comunidades.

La comunidad La Jalca se encuentra en el distrito de Cuispes, ubicado en la región natural Quechua a una altura de aproximadamente 2700 m.s.n.m. La zona posee un relieve montañoso con grandes pastizales. La comunidad se encuentra asentada sobre la cumbre del cerro denominado “Pabellón” y que a su vez da origen a la catarata Chinata de 580 metros y Pabellón de 400 metros. Con un clima variado que va desde templado a frío dependiendo de la época del año, con lluvias más frecuentes entre los meses de noviembre a abril. El centro poblado más cercano es Cuispes, a una distancia aproximada de 8 kilómetros. El acceso desde Cuispes es por vía terrestre mediante carretera afirmada (4,7 km) y luego camino de herradura en fila india (3,3 km). El tiempo para llegar desde Cuispes es de 10 minutos en motocicleta hasta la falda del cerro denominado “Pabellón” donde acaba la carretera afirmada para luego hacer el recorrido a pie durante 1:40 horas aproximadamente. La comunidad consta de 17 habitantes, conformados en 8 hogares de viviendas permanentes. La población centra sus actividades en la agricultura para autoconsumo, en la crianza de cuyes y ganado vacuno (consecuentemente producción de leche y queso) para el autoconsumo y en ocasiones cuando la producción es mayor, el restante de la producción ganadera

es vendido en la localidad de Pedro Ruiz Gallo, que es el centro comercial más cercano (30 minutos en motocicleta desde Cuispes).

La comunidad Perla del Imaza se encuentra en el distrito de Yambrasbamba, ubicado en la región natural Yunga Fluvial a una altura de aproximadamente 1814 m.s.n.m. en la parte selva de la provincia. La zona posee un relieve muy accidentado con grandes bosques. La comunidad se encuentra sobre un valle en el lado oriental del río Imaza. Posee un clima cálido durante la mayor parte del año, con lluvias más frecuentes entre los meses de noviembre a marzo. El centro poblado más cercano es La Florida (14 km), el centro poblado comercial más cercano es Pomacochas a una distancia aproximada de 46,2 km. El acceso es por vía terrestre mediante carretera afirmada (21,2 km) hasta el centro poblado La Esperanza y luego por la carretera Fernando Belaunde Terry (25 km) hasta Pomacochas. El tiempo para llegar desde Pomacochas es de 1:40 horas aproximadamente en motocicleta. La comunidad consta de 83 habitantes, conformados en 29 hogares de viviendas permanentes. La población centra sus actividades en la agricultura y crianza ganado vacuno (consecuentemente producción de leche y queso) centrado en la comercialización.

La comunidad San José se encuentra en el distrito de Yambrasbamba, ubicado en la región natural Yunga Fluvial a una altura de aproximadamente 2065 m.s.n.m. en la parte selva de la provincia. La zona posee un relieve montañoso con grandes pastizales. La comunidad se encuentra asentada sobre un valle, con un clima cálido durante la mayor parte del año, con lluvias más frecuentes entre los meses de noviembre a marzo. El centro poblado más cercano es Yambrasbamba (26,5 km),

el centro poblado comercial más cercano es Pomacochas a una distancia aproximada de 46 kilómetros. El acceso es por vía terrestre mediante carretera afirmada (33,2 km) hasta el cruce con la carretera Fernando Belaunde Terry y luego hasta Pomacochas (12,8 km). El tiempo para llegar desde Pomacochas es de 1:30 horas aproximadamente en motocicleta. La comunidad consta de 67 habitantes, conformados en 18 hogares de viviendas permanentes. La población centra sus actividades en la agricultura para el autoconsumo y crianza ganado vacuno (consecuentemente producción de leche y queso) centrado en la comercialización.

La comunidad El Verde se encuentra en el distrito de Corosha, ubicado en la región natural Yunga Fluvial a una altura de aproximadamente 2160 m.s.n.m. en la parte ceja de selva de la provincia. La zona posee valles estrechos con grandes pastizales. La comunidad se encuentra asentada sobre la falda de una montaña en el lado occidental del río Imaza. Posee un clima templado a frío dependiendo de la época del año, con lluvias más frecuentes entre los meses de noviembre a abril. El centro poblado más cercano es Las Palmas (3 km), el centro poblado comercial más cercano es Pomacochas a una distancia aproximada de 23 km. El acceso es por vía terrestre mediante carretera afirmada (20km) hasta el centro poblado Las Palmas, para luego camino de herradura (3 km). El tiempo para llegar desde Pomacochas es de 35 minutos en motocicleta hasta Las Palmas, para luego hacer el recorrido a pie durante 1:15 hora aproximadamente. La comunidad consta de 61 habitantes, conformados en 16 hogares de viviendas permanentes. La población centra sus actividades en la agricultura para autoconsumo y la crianza de ganado vacuno (consecuentemente producción de leche y queso) también para el autoconsumo.

1.3.2. Delimitación temporal

La duración de la investigación fue de ocho meses.

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

La importancia radica en que en nuestro país las poblaciones de las comunidades rurales que no cuentan con el servicio eléctrico presentan una desventaja frente a la población de las áreas urbanas.

La población involucrada en el proyecto, carecen de los medios económicos y tecnológicos para emprender un proyecto que solucione la problemática objeto de la presente tesis.

En efecto, con el desarrollo y resultados de esta tesis, se prevé en el corto plazo solucionar la problemática y enmarcar a esta población en una carrera de desarrollo sostenible, sin vulnerar sus costumbres y cultura.

1.4.1. Justificación Científica

Promover el uso de las energías no convencionales y la tecnología fotovoltaica en comunidades aisladas y que la TESIS forme parte de antecedentes para futura investigaciones relacionadas con el tema.

1.4.2. Justificación Ambiental

El desarrollo y aplicación de este trabajo de investigación no produce impacto ambiental negativo, al contrario, se disminuirá daños al medio ambiente ya que este tipo de energía no proviene del petróleo.

1.4.3. Justificación Social

La tesis tiene como beneficio la mejor calidad de vida (educación, salud, transporte, comunicación) de los pobladores de las comunidades aisladas y reducir la desigualdad existente entre zonas rurales y urbanas.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Los datos de radiación solar han sido obtenidos de tres fuentes: Atlas de Energía Solar del Perú – 2003, software METEONORM, la aplicación web Global Solar Atlas y la aplicación web POWER Single Point Data Access.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Dimensionar sistemas fotovoltaicos para las comunidades aisladas de la Perla del Imaza, San José, El Verde y La Jalca; ubicados en la provincia de Bongará – región Amazonas.

1.6.2. **Objetivos Específicos**

- a) Determinar la máxima demanda y consumo eléctrico proyectado en las comunidades de la Perla del Imaza, San José, El Verde y La Jalca, en la provincia de Bongará – región Amazonas.
- b) Determinar la radiación solar promedio en cada comunidad aislada en estudio.
- c) Seleccionar los equipos y componentes del sistema fotovoltaico y redes secundarias.
- d) Determinar el presupuesto referencial de los sistemas fotovoltaicos, con sus respectivas redes secundarias.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. Contexto Internacional

Según **Romero** en su tesina final de Máster titulado “ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y SU UTILIZACIÓN EN LAS REGIONES DE LA COSTA Y SIERRA DEL ECUADOR. CASO DE ESTUDIO: BIBLIOTECA POMPEU FABRA DE MATARÓ”, indica que...

Este trabajo trata acerca del funcionamiento de la energía fotovoltaica en Ecuador, para lo cual se ha utilizado como caso de estudio la Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró-España. Primero se realiza una breve revisión del estado del arte de la energía fotovoltaica y la radiación solar. Luego se analiza y compara aspectos energéticos, económicos y ambientales, implantando el proyecto en las ciudades de Quito, Guayaquil y Mataró. La modelación del proyecto se realizó de acuerdo con lo indicado en las especificaciones del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) para el caso de Mataró y de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo 14 para los casos de Quito y Guayaquil. Se ha modelado el proyecto tomando en consideración cinco posibilidades escenarios para cada una de las ciudades y se han comparado entre sí los resultados de la modelación. Tomando en consideración este caso en particular y después de analizar los resultados obtenidos se puede concluir que la utilización de paneles fotovoltaicos en Ecuador puede dar resultados más favorables que los obtenidos en España, esto se debe a la gran cantidad de radiación solar que recibe al encontrarse atravesado por la línea ecuatorial. (2015, 1)

Así mismo, **Chávez Guerrero** en su tesis de grado titulado “PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA USO DE PANELES SOLARES EN GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE ELECTRICIDAD EN EL COMPLEJO HABITACIONAL SAN ANTONIO DE RIOBAMBA”, afirma que...

Se elaboró un marco teórico en base a la bibliografía universal, evaluando los requerimientos de consumo energético de una vivienda tipo del conjunto residencial y en base de la determinación del potencial energético del sol de la localidad, se proyectó el sistema fotovoltaico que genera 11.88 kW que alimenta una carga de 55.76 A, con el uso de nueve paneles fotovoltaicos, un banco de 27 baterías conectadas en serie, utilizando tres inversores de 48V y 4000VA, un controlador para evitar la sobre carga y descarga total de las baterías de almacenamiento las que no deben sobrepasar de un 60% en su descarga con la finalidad de tener una vida útil de 25 años. Se efectuó el estudio ambiental del proyecto, contemplándose la realización e identificación, evaluación y descripción de los impactos ambientales que son mínimos por que la energía solar es una fuente no contaminante. Del análisis económico realizado se determina que la tasa de retorno inmediata debido a los altos costos del equipo sería de 23 años; más esta inversión se justifica por la no agresividad ecológica de la energía solar como también en la alternativa viable de utilización de nuevas fuentes de energía dentro de la matriz energética del país. Las fuentes renovables de energía (solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa, otras) en nuestro país son viables de utilizar por la gran cantidad de potencial energético disponible. (2012)

2.1.2. Contexto Nacional

Según **Valdera Santisteban** en su tesis de grado titulado “PROPUESTA DE UN DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTÁICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL C.P. CALERITA – CHICLAYO, 2016”, menciona que...

El trabajo de investigación realizó la propuesta para el suministro energía eléctrica al Centro Poblado La Calerita ubicado en el Distrito de Tumán, de la Provincia de Chiclayo, en el Departamento de Lambayeque, que en total son 37 Viviendas de características rurales, que actualmente no cuentan con este servicio. Se utilizó un estudio de las necesidades energéticas en este centro poblado, el cual muestra que existe poco crecimiento económico debido al no contar con este servicio. Luego se realizó un inventario de las cargas eléctricas en cada vivienda en el cual se evidencia que se tiene una potencia instalada de 400 watt aproximadamente.

Para el aseguramiento de la eficiencia del uso de la energía solar se realizó un estudio de los niveles de radiación solar, el cual está entre los 6 a 8 kw-h/m² por día datos registrados por SENAMHI y otros, el cual está dentro de los parámetros de uso eficiente de la energía solar.

La propuesta de instalación de los kit de energía solar, que son sistemas de energía autónomos, incluye los cálculos de las dimensiones de los paneles solares hasta las dimensiones de los conductores, los dispositivos de control y otros.

El costo de instalación por cada vivienda ascienda aproximadamente a 2885,00 Nuevos soles valor que es posible financiar en un período de 3 años, que es el período de recuperación de capital para luego tener menores pagos por concepto de energía eléctrica. (2016, XIII)

Según **Valdiviezo Salas** en su tesis de grado titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 15 COMPUTADORAS PORTÁTILES EN LA PUCP”, en el resumen nos dice que...

El principal objetivo de la tesis es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP.

En el primer capítulo, se definen los conceptos más relevantes, los principales fundamentos teóricos y las características de los equipos que conforman una instalación fotovoltaica aislada, utilizando bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica.

En el segundo capítulo, se elabora una lista de exigencias, recopila condiciones del sitio, obtenidos de la Estación climatológica Hipólito Unanue en la PUCP y se estima la demanda del consumo energético, el cual tiene un valor de 158.4 Ah/día. Luego, se dimensiona la cantidad de baterías, paneles fotovoltaicos, inversores y controladores a emplear. Se obtiene el siguiente arreglo, al iterar varias veces:

12 baterías 250 Ah / 12V (3 ramales de 2 paralelo y 2 en serie).

24 paneles de 150 Wp. (3 ramales de 4 paralelo y 2 en serie).

3 controladores de 50A y 24V.

1 inversor 24V/230V – 1200w.

Así mismo, se estima la distancia y características de los cables de acuerdo a la ubicación y cargas, y se dimensionan elementos de protección mediante la IEC 603645-52 “Instalaciones eléctricas en edificios”.

En el tercer capítulo, se diseña la estructura y se realizan cálculos justificativos de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se emplea el método

AISCRFD. Además, se realiza una simulación estática de la estructura final en ANSYS y se verifica el cumplimiento en cuanto a deflexiones y esfuerzos; se realiza un listado de materiales y recomendaciones para el montaje.

En el capítulo final, se estima un Capital Expenditure (CAPEX) de S/. 67 815, un Operational Expenditure (OPEX) de S/. 200 anuales y Emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI) no emitidas de 4,35 tCO₂ anuales. (2014)

Así también, **Soberón Huamán** en su tesis de grado titulado “DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA COMUNIDAD NATIVA DE KUSU NUMPATKAM” DISTRITO DEL CENEP, 2016”. Expresa en el resumen que...

La investigación se realizó para dimensionar una central voltaica para comunidad de Kusu Numpatkaim. Las técnicas e instrumentos para la recolección de datos que se utilizaron fueron: Observación directa y análisis de documentos; además para la evaluación de la información y datos que se obtuvieron en esta investigación utilizaron los métodos: programa Microsoft Office Excel y para la presentación de la información final se utilizó el programa Microsoft Power Point.

En esta investigación se realiza el dimensionamiento de una central fotovoltaica que brindará energía por medio de la radiación solar (energía limpia) suficiente para satisfacer las necesidades de iluminación y que la comunidad nativa pueda desarrollarse dentro del alcance de sus oportunidades. Se dimensionó el campo solar, los acumuladores, reguladores, inversor siguiendo sus condiciones de servicio y/o características de funcionamiento estipuladas dentro de sus fichas técnicas. Como resultado nos brindan evaluadores económicos negativos pero considerando que la comunidad es parte de la sociedad peruana y esta es una de

la pocas maneras de poder hacerles llegar el servicio eléctrico se recomienda dentro de esta investigación buscar una ONG o/y organismo gubernamental que asista en los gastos que vuelven no factibles este proyecto. (2016, 8)

Así mismo, **Bravo Damián y Gamarra Vílchez** en su tesis de grado titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGÍA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN LA UNIVERSIDA NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO”. Menciona que...

El trabajo de investigación ha sido elaborado como objetivo de estudio por su importancia que tiene la utilización de las energías renovables y por el ahorro en costos de energía que significaría su implementación.

El diseño del sistema fotovoltaico fue realizado siguiendo la metodología propuesta en el capítulo tres empezando con la medición de la radiación solar utilizando el software METEONORM Versión 7.0 (demo) obteniendo como resultados un promedio anual de irradiación de 5.1 kW/m² por día. Luego se estima la carga conectada utilizando una pinza amperimétrica y las hojas de datos de los equipos del laboratorio.

A continuación identificamos el área de instalación de los paneles solares en el techo del laboratorio para luego realizar los cálculos matemáticos para determinar el Voltaje de instalación, el tipo y número de paneles solares a utilizar, la configuración de los reguladores de carga, el tipo y número de baterías, las características del inversor y por último la disposición topológica del sistema.

Para finalizar realizamos la selección de los equipos y componentes del sistema utilizando catálogos de las empresas especializadas en el rubro, para luego determinar el costo total del sistema a implementar. (2016)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado.

2.2.1. Energía.

En física es definida como una magnitud abstracta, la cual está ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable en el tiempo; dicho de otra manera, es conocido como la capacidad de realizar trabajo, de producir una variación en la velocidad de movimiento de un cuerpo o partícula.

Antiguamente se pensaba que la energía y el calor eran dos magnitudes distintas, no fue hasta que en el ciclo XIX, James Joule a través de un experimento demostró que el calor no era más que una forma de energía. Gracias a este experimento logró determinar el equivalente mecánico calórico, el cual relaciona directamente la unidad de la energía (Joule) y la unidad de calor (caloría).

$$4,186 \text{ Joule} = 1 \text{ cal} \dots \dots \dots (01)$$

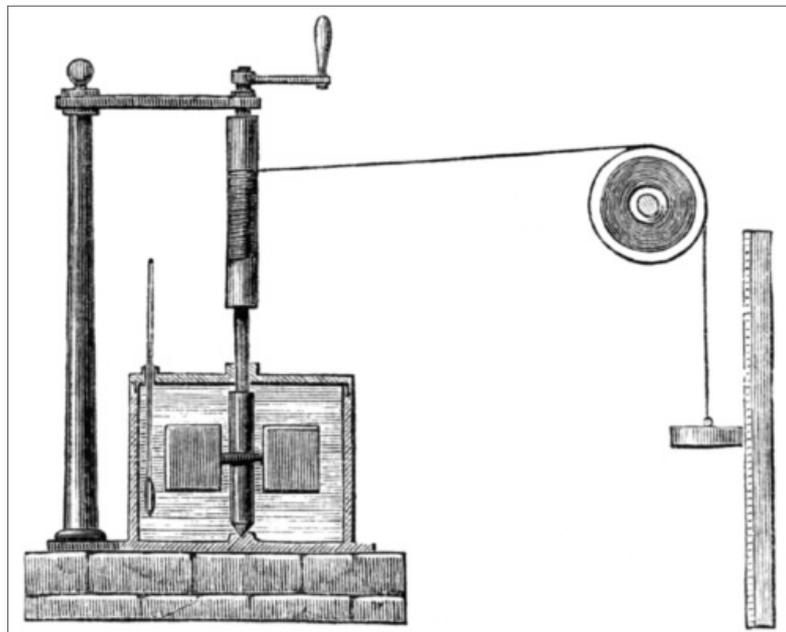


Figura 4: Experimento de Joule.
Fuente⁵.

⁵ “Los experimentos de Joule”, César Tomé López, Cultura Científica, acceso 18 de octubre de 2018, <https://culturacientifica.com/2017/05/09/los-experimentos-joule/>

A partir del resultado de este experimento, es que se acredita a James Joule el descubrimiento del “Principio de la Conservación de la Energía”, llamado también Primera Ley de la Termodinámica. Este principio establece que la energía interna de un sistema aislado no se crea ni se destruye, solo se transforma en otro u otros tipos de energía. En la actualidad este principio ya no es válido tal cual fue descubierto, gracias a la Teoría de la Relatividad de Albert Einstein, la cual vincula directamente la relación entre la medida de la inercia que tiene un cuerpo (expresada en masa) y su contenido de energía (cinética), a través de la famosa ecuación:

$$E = mc^2 \dots \dots \dots (02)$$

Cambiando su denominación a “Principio de Conservación de la Masa y Energía”, así también, este principio se rige bajo tres postulados fundamentales:

- 1) No existe, ni podrá existir nada capaz de generar nueva energía. Un panel solar no genera energía eléctrica, en cambio transforma la energía radiante en energía eléctrica.
- 2) No existe, ni podrá existir nada capaz de destruir la energía.
- 3) Las variaciones de cantidad de energía de un sistema serán producto de un intercambio de energía con otro sistema, por no ser un sistema aislado.

De acuerdo al principio expuesto en párrafos que anteceden, la energía puede manifestarse de distintas formas: Energía mecánica, energía cinética, energía potencial, energía química, energía nuclear, energía electromagnética, energía radiante, entre otros.

En nuestro planeta, casi la totalidad de la energía disponible proviene del Sol, o como consecuencia directa de su influencia. La energía solar produce en la Tierra

efectos de movimiento de masas de aire, movimiento de masas de agua de los océanos, el ciclo del agua, entre otros fenómenos que tienen como objeto regular la temperatura del planeta; a su vez el calor y radiación visible del Sol incidente en la Tierra son la base de numerosos procesos químicos esenciales para el desarrollo de la vida vegetal y animal, cuyos restos orgánicos darán origen con el paso de los siglos a los denominados combustibles fósiles.

2.2.1.1. Fuentes de energía

La denominación de fuente de energía a todo aquel recurso natural que el hombre utiliza para extraer energía y realizar un trabajo determinado. Se pueden clasificar:

2.2.1.1.1. De acuerdo con su capacidad de regeneración

A. **Energías renovables:** Aquellas que por su gran capacidad de regeneración natural o por la gran cantidad de energía que contienen son consideradas inagotables; provienen de recursos naturales consecuencia directa de las fuerzas gravitatorias externas o la radiación proveniente del Sol. Como ejemplo se tiene a la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas.

De acuerdo a su presencia en el sistema energético global, las energías renovables se dividen en dos grandes ramas o clasificaciones: Energías renovables convencionales y energías renovables no convencionales.

Dentro de las energías renovables convencionales se encuentra aquella cuya fuente es el agua, es decir la energía producida en las centrales hidroeléctricas.

En tanto, dentro de las energías renovables no convencionales se encuentra la energía producida mediante generación solar fotovoltaica, solar térmica, mareomotriz, eólica, geotérmica y biomasa.



Figura 5: Energías renovables.

Fuente⁶.

B. **Energías no renovables:** Aquellas que existen en la naturaleza en cantidad limitada, como su clasificación lo indica no poseen la capacidad de renovarse a corto plazo; en general este tipo de energías genera gran cantidad de contaminación ambiental, pese a ello gran parte de la industria mundial actual satisface su demanda con este tipo de energía. Las fuentes de energía representativas de esta clasificación son el carbón, el uranio, el petróleo y sus derivados.

⁶ “Gestión de Energías Renovables”, Ecoticias, 18 de octubre de 2017, <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/175893/Gestion-de-Energias-Renovables-el-master-que-no-te-querras-perder>.



Figura 6: Energías no renovables.

Fuente⁷.

2.2.1.1.2. De acuerdo a su utilización

A. **Energía primaria:** Es aquella que no ha sufrido ningún tipo de transformación, obtenida directamente de las materias primas y que corresponde a un tipo de energía almacenada o de disponibilidad inmediata en la naturaleza, por ejemplo, la energía del agua, aire, sol, carbón, gas natural.

B. **Energía secundaria:** Aquella obtenida como consecuencia de la transformación de las energías primarias, llevadas a cabo necesariamente en un centro de transformación. En esta clasificación se encuentran por ejemplo la electricidad y los derivados del petróleo.

C. **Energía útil:** Frecuentemente es necesario una segunda transformación de las energías primarias para lograr su uso final, son llamadas también energías

⁷ "Fuentes de Energía no Renovables", *Escuela General 6 Vespertino* (blog), 10 de enero de 2017, <http://escuelageneral6vespertino.blogspot.com/2017/01/fuentes-de-energia-no-renovables.html>

finales. Se encuentran en esta clasificación por ejemplo la energía térmica producida en un horno eléctrico.

2.2.1.2. **Energía solar**

Es la fuente de energía renovable más abundante en nuestro planeta, es origen de toda vida conocida y resulta fundamental para su desarrollo, es origen también de las demás formas de energía conocidas...

Cada año el Sol suministra a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la consumida por toda la humanidad. Mediante el empleo de colectores solares la energía solar puede transformarse en energía térmica y esta posteriormente en electricidad; a su vez, con el empleo de paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica.

Se distinguen dos formas de radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. Por otro lado, la radiación difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna, gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar ocasionados por las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras la concentración de la radiación difusa no es posible debido a que proviene de múltiples direcciones. Sin embargo, ambas radiaciones son aprovechables.

En cuanto a los receptores, se pueden diferenciar los receptores activos y receptores pasivos. Los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema

receptor hacia el Sol – llamados seguidores – y captar mejor la radiación directa. Los pasivos, en tanto, no son capaces de realizar este seguimiento.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. De este modo, tienen lugar los sistemas de generación distribuida en los que se elimina casi por completo las pérdidas que se registran en la transmisión y distribución de la energía, que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total.⁸



Figura 7: Aplicación de la energía solar fotovoltaica.
Fuente⁹.

2.2.1.2.1. Radiación solar

El Sol genera energía mediante reacciones nucleares de fusión que se producen en su núcleo. Esta energía recibe el nombre de radiación solar, se transmite de forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre en un conjunto

⁸ "Introducción a las Energías Renovables", Osinergmin, acceso 15 de noviembre de 2018, <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>.

⁹ *Ibíd.*

de radiaciones o espectro electromagnético con longitudes de onda que van desde los $0,15 \mu\text{m}$ a $4 \mu\text{m}$ aproximadamente (ver Figura 7). La parte del espectro que va de $0,40 \mu\text{m}$ a $0,78 \mu\text{m}$ forma el espectro visible que denominamos comúnmente luz, el resto del espectro que no es visible lo conforman las radiaciones con longitud de onda menores a $0,40 \mu\text{m}$ denominadas radiaciones ultravioletas (UV) y con longitudes de onda mayores a $0,78 \mu\text{m}$ denominadas radiaciones infrarrojas (IR). (Castejón y Santamaría 1998, 14)

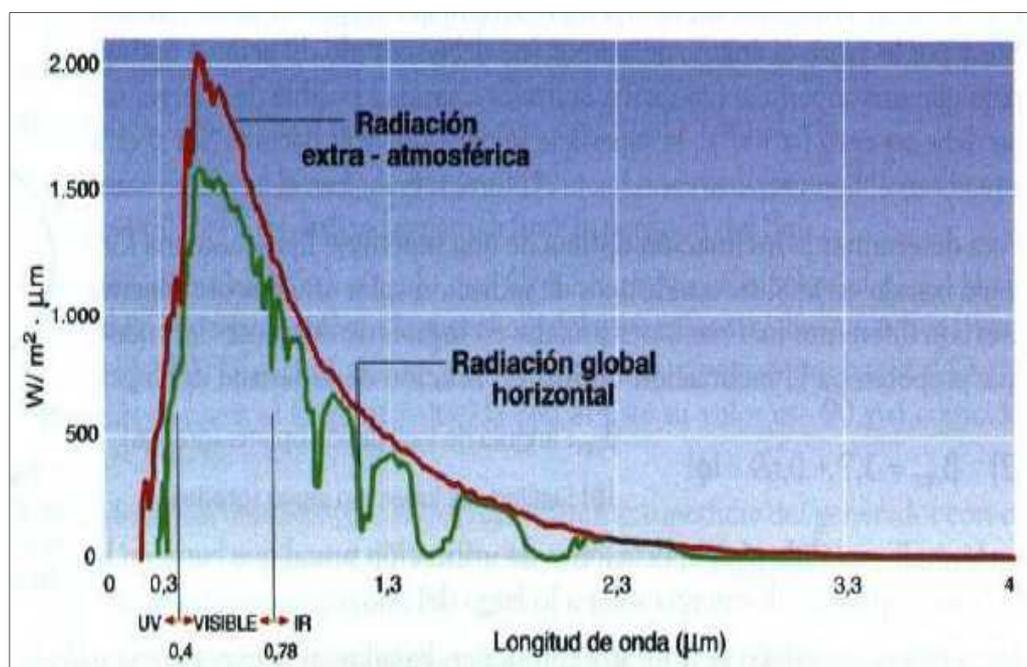


Figura 8: Espectro electromagnético de la radiación solar.
Fuente¹⁰.

2.2.1.2.2. Horas de Sol Pico (H.S.P.)

“Las horas de sol pico se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m^2 , que se resume la misma irradiación total que la real de ese día. Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en kW-h/m^2 es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que

¹⁰ Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998), 14.

junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la Figura 9". (Valdiviezo Salas 2014, 7)

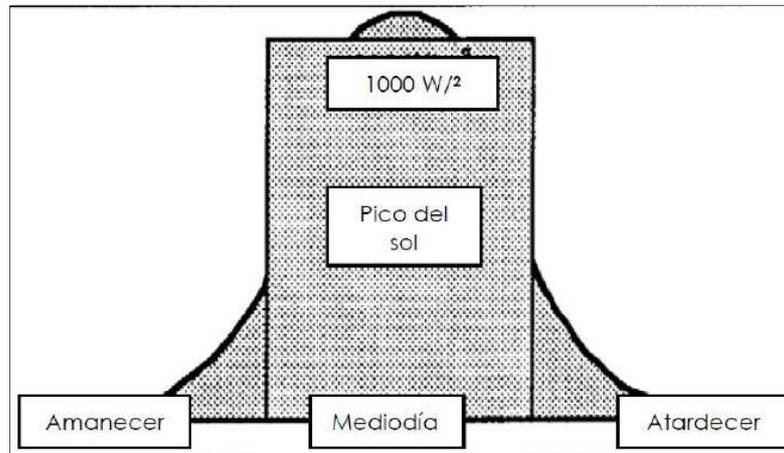


Figura 9: Concepto de Horas Sol Pico.
Fuente¹¹.

2.2.1.3. Electricidad

Es la forma de energía más relevante de la actualidad, sobre la que se asientan las bases de la industria mundial, la economía, la medicina, la ingeniería, entre otros, del desarrollo de la humanidad. Lo que es bueno, pero también genera una gran dependencia de la sociedad para con esta energía, lo que conlleva a un incremento potencial del consumo, como consecuencia no solo se ocasiona perjuicios al medio ambiente, sino también a la salud de los seres vivos en general. El grado de contaminación ocasionado por la generación de esta energía depende en gran medida del tipo de materia o energía primaria que se utilice para ello, por esto es necesario cultivar en las personas una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía, dando a conocer su naturaleza desde su generación en las grandes centrales eléctricas hasta su consumo final.

¹¹ Paulo Daniel Valdiviezo Salas, "Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP" (Lima, 2014), 7.

La generación de la electricidad a gran escala se produce en las denominadas centrales eléctricas, que constituyen el primer eslabón del Sistema de Suministro Eléctrico. Estas centrales eléctricas se pueden clasificar dependiendo de la materia o energía primaria que utilicen:

2.2.1.3.1. **Centrales térmicas.**

En una central térmica convencional, la energía química almacenada en el combustible se convierte en energía calorífica a través de su combustión, a su vez, esta energía es utilizada para producir vapor de agua, con lo cual se tiene una segunda transformación denominada energía térmica, posteriormente esta energía es convertida por tercera vez en energía mecánica con la acción de la turbina, para finalizar el proceso la energía es transformada por una cuarta vez a energía eléctrica a través de un generador el cual se encuentra acoplado a la turbina. Su fuente de energía primaria proviene del carbón, petróleo o gas, y su rendimiento promedio es del 30%. Se distinguen adicionalmente dos tipos de centrales térmicas no convencionales: Centrales térmicas de ciclo combinado y centrales térmicas de cogeneración.

2.2.1.3.2. **Centrales nucleares.**

En las cuales se utiliza la energía nuclear de elementos químicos pesados como el Uranio 235 o Plutonio 239 para la generación final de energía eléctrica. A través de un proceso de *Reacciones Nucleares de Fisión*¹² se genera calor, usado luego en

¹² Cuando el núcleo de un elemento pesado es bombardeado por neutrones libres, ocasionando su inestabilidad y su posterior descomposición en dos núcleos más ligeros pero de la misma magnitud, como resultado un gran desprendimiento de energía y la liberación de dos o tres neutrones. Estos neutrones ocasionarán nuevas reacciones en cadena al interactuar con nuevos núcleos fisionables.

un ciclo termodinámico convencional (análogo al funcionamiento de una central térmica). Este tipo de centrales no produce gases de efecto invernadero ni utiliza combustibles fósiles, sin embargo sus instalaciones presentan una construcción muy compleja debido al riesgo que significa perder su control.

2.2.1.3.3. Centrales hidroeléctricas.

La instalación de estas centrales depende de la construcción de grandes presas en los cauces de los ríos para retener el agua. Aprovecha la energía potencial del agua embalsada dejándola caer por unas tuberías de alta presión, dentro de estas adquiere una gran velocidad (energía cinética) y que al interactuar con los álabes de la turbina hidráulica causa un movimiento rotacional (energía mecánica), a su vez, la energía mecánica de la turbina es transmitida a un generador, en donde la energía finalmente se transforma en electricidad.

2.2.1.3.4. Centrales de energías renovables no convencionales.

A. **Centrales eólicas:** Son aquellas que, aprovechando la energía cinética del viento, generan electricidad, a través de unos equipos llamados aerogeneradores.

B. **Centrales solares fotovoltaicas:** Son aquellas que, aprovechando la radiación solar por medio de paneles solares fotovoltaicos, generan directamente electricidad. En el *numeral 2.2.4* se profundizará sobre este sistema de generación.

C. **Centrales solares térmicas:** Similar a una central térmica convencional, la diferencia radica en el combustible que en este caso es el Sol. Este tipo de centrales aprovecha el calor de la radiación solar para calentar un fluido y producir vapor para finalmente accionar un generador eléctrico.

D. **Centrales marinas:** En las que se aprovecha la energía proveniente de mares y océanos; las más comunes son las Centrales Mareomotrices, en las que se aprovecha la energía mecánica de las mareas.

E. **Centrales geotérmicas:** Son aquellas que aprovechan el calor interno de la Tierra para producir electricidad, el proceso de generación es similar al de una central térmica convencional.

F. **Centrales minihidráulicas:** Denominadas así aquellas centrales hidráulicas cuya potencia generada es como máximo 10 MW; a diferencia de las grandes centrales hidroeléctricas estas no necesitan represar el agua, en cambio desvían parte del caudal de un río para aprovechar su energía, por lo que la capacidad de generación depende constantemente del caudal de la fuente.

2.2.1.4. **Sistema de suministro eléctrico**

Se encuentra constituido por el conjunto todos los elementos e instalaciones que permiten la generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, además de los mecanismos de control y protección.

2.2.1.4.1. **Generación**

El sistema de generación se realiza en las denominadas centrales eléctricas, las cuales aprovechan una fuente de energía primaria para generar energía eléctrica, a través de producir un movimiento rotacional en una turbina a la cual se acopla un generador; debido a la naturaleza de la electricidad de no poder ser almacenada, obliga a que las centrales generadoras deban ser cada vez de mayor potencia para hacer frente a la creciente demanda energética.

2.2.1.4.2. Transmisión

El sistema de Transmisión, también llamado red de transporte o de alta tensión, cumple la función de enlazar las centrales eléctricas con los centros de consumo. Dependiendo de la distancia entre estos últimos y a fin de evitar el máximo de pérdidas de energía por efecto Joule durante el proceso de transporte, el nivel de tensión producido en los generadores ha de incrementarse hasta niveles de alta tensión o muy alta tensión. El sistema de transmisión comprende: Las estaciones de potencia elevadoras (alta tensión o muy alta tensión), las líneas de transmisión de alta tensión ($V > 230$ kV), las subestaciones de transformación reductoras (alta tensión), por último las líneas de subtransmisión de alta tensión (35 kV $< V \leq 230$ kV).

2.2.1.4.3. Distribución

El sistema de distribución o red de distribución tiene como finalidad el suministro de energía eléctrica a los usuarios finales, en media tensión para consumo industrial o en baja tensión para consumo residencial. Este sistema comprende: Las estaciones transformadoras de distribución primaria (las cuales reducen el nivel de tensión de las líneas de transmisión o subtransmisión a niveles de media tensión), las líneas y redes primarias de distribución (1 kV $< V \leq 35$ kV) desde las cuales se suministra energía directamente a los clientes industriales, los centros de transformación que son la última etapa del suministro en media tensión (reducen el nivel de tensión a niveles de baja tensión) y por último las redes secundarias de distribución ($V \leq 1$ kV) las cuales suministran de energía eléctrica a los usuarios residenciales o también llamados usuarios finales.

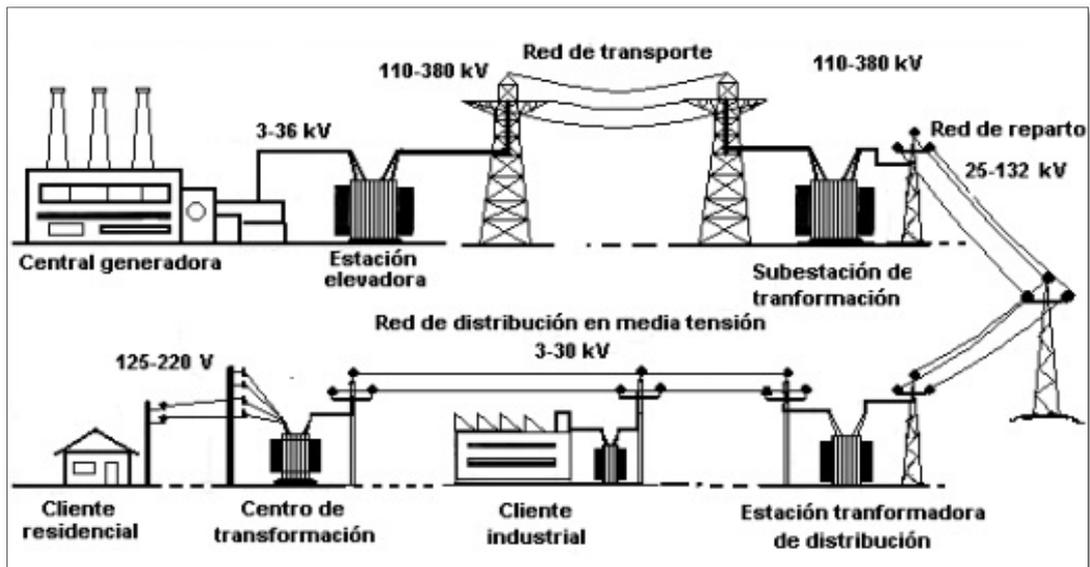


Figura 10: Diagrama esquematizado del sistema de suministro eléctrico. Fuente¹³.

2.2.2. Principios de la transformación fotovoltaica¹⁴

2.2.2.1. Corriente eléctrica

Convencionalmente se define a la corriente eléctrica como el movimiento de cargas positivas desde un punto de mayor potencial hacia otro de menor potencial. Sin embargo, gracias al efecto Hall, en posterioridad se pudo observar que en los materiales conductores los portadores de carga son negativos (electrones), los cuales fluyen en sentido contrario a lo convencional. Dependiendo del tipo de movimiento de las cargas se puede distinguir dos clasificaciones:

Corriente continua, cuando el flujo de electrones se mueve en un único sentido, este tipo de corriente es producida en las pilas, baterías, en un dínamo y en una célula fotovoltaica.

¹³ Rachel Pacas, "Instalación eléctrica de un centro de cómputo", *Instalación de mantenimiento de sistemas eléctricos y de redes informáticas* (blog), 5 de marzo de 2017, <http://rachelpacas03.blogspot.com/2017/03/instalacion-electrico-de-un-centro-de.html>.

¹⁴ FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

Corriente alterna, es producida en las centrales eléctricas por intermedio de los alternadores, su principio de funcionamiento se basa en que al hacer girar sus espiras se genera una onda de corriente en forma alterna senoidal a una tensión y frecuencia determinadas. En Perú la corriente alterna de consumo residencial se da en parámetros de 220 V a una frecuencia de 60 Hz.

2.2.2.1.1. Intensidad de la corriente eléctrica

Es la cantidad de electricidad o carga eléctrica que pasa por una sección de un conductor por unidad de segundo, se define por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{Q}{t} \dots \dots \dots (03)$$

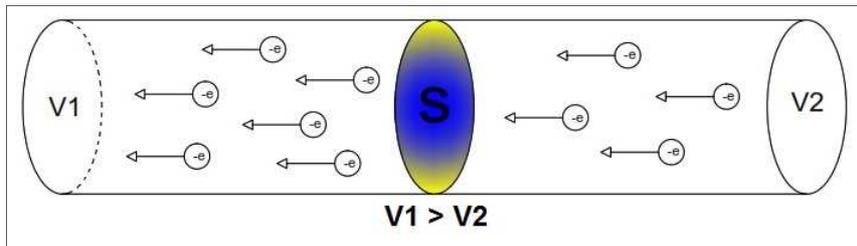


Figura 11: Circulación de corriente en un conductor.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.

2.2.2.1.2. Ley de Ohm

Establece que la diferencia de potencial entre dos puntos diferentes de un conductor es directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula por él.

$$R = \frac{V_1 - V_2}{I} = \frac{\Delta V}{I} \dots \dots \dots (04)$$

2.2.2.1.3. Agrupación de resistencias en serie y paralelo

En un **circuito en serie** las resistencias se encuentran conectadas una a continuación de la otra, en este caso la conexión de los elementos se da de forma que el terminal de mayor potencial (polo positivo en cc) de un primer elemento se conecta con el terminal de menor potencial (polo negativo en cc) del siguiente elemento, en esta configuración se cumple lo siguiente:

La corriente que circula por cada una de las resistencias es la misma:

$$I_t = I_1 = I_2 = \dots = I_n \dots \dots \dots (05)$$

La resistencia total es la suma de las resistencias parciales:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n \dots \dots \dots (06)$$

La tensión total o resultante del circuito es la suma de las diferencias de potencial producto de las resistencias:

$$V_t = V_1 + V_2 + \dots + V_n \dots \dots \dots (07)$$

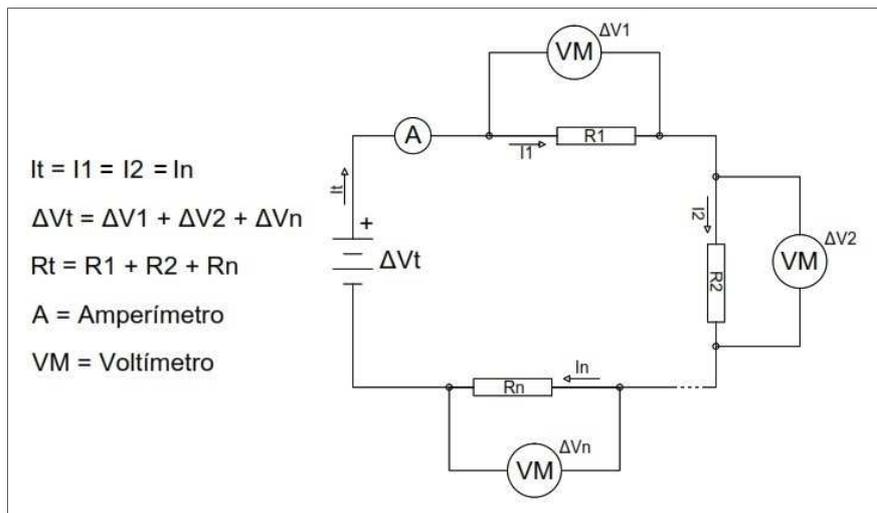


Figura 12: Esquema básico de un circuito en serie.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.

En un **circuito en paralelo** todos los terminales de mayor potencial (polo positivo en cc) de todas las resistencias se encuentran conectadas entre sí, de igual manera que todos los terminales de menor potencial. De la misma manera que en el caso anterior, se cumple una serie de condiciones:

En todo sistema en paralelo se cumple que el inverso de la resistencia equivalente o total es igual a la suma de las inversas de cada resistencia:

$$\frac{1}{R_t} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots \dots \dots (08)$$

La tensión total es constante en todo el circuito:

$$V_t = V_1 = V_2 = \dots = V_n \dots \dots \dots (09)$$

La intensidad de corriente total es la suma de las intensidades de corriente que pasan por cada una de las resistencias unitarias:

$$I_t = I_1 + I_2 + \dots + I_n \dots \dots \dots (10)$$

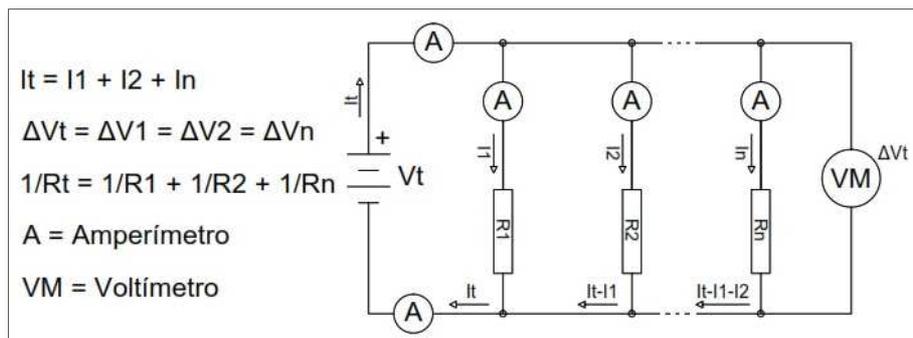


Figura 13: Esquema básico de un circuito en serie.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

2.2.2.1.4. Potencia eléctrica

Se define como el trabajo necesario para desplazar una carga (Q) entre dos puntos a diferente potencial por unidad de tiempo (s), su unidad de medida es el Watt.

$$P = \frac{W}{t}, \quad W = Q * V \dots \dots \dots (11)$$

Si aplicamos la ecuación (01): $Q = I * t$

$$P = \frac{I * t * V}{t} = V * I \dots \dots \dots (12)$$

Las ecuaciones aprendidas hasta este punto, servirán de base para la determinación de las características y conformación de los componentes de las IFV.

2.2.2.2. Estructura de la materia

El átomo es la estructura más pequeña de un elemento, el cual conserva sus propiedades químicas. Se encuentran constituidos por un núcleo central conformado por protones y neutrones, alrededor de este se encuentran girando en diferentes orbitales un número de electrones (el número de electrones define las características particulares de cada elemento) en la misma cantidad que los protones.

2.2.2.2.1. El enlace metálico

Es un enlace químico que mantiene unidos los átomos de un mismo elemento metálico entre sí (unión entre cationes y electrones de valencia). Existen dos modelos que explican la formación del enlace metálico:

A. **Modelo de gas-electrónico:** Llamada también del mar de electrones o de la nube electrónica. “Este modelo considera a los metales como una red periódica tridimensional, en la que existe un conjunto de iones positivos fuertemente empaquetados y rodeados de cierto número de electrones libres (electrones de valencia), formando una especie de nube electrónica. Estos electrones pueden moverse, con relativa facilidad, a través de todo el metal”. (FUNIBER s.f.)

Estos electrones libres ya no pertenecen a un átomo en especial, sino que son comunes a todos los conjuntos de iones dentro del sistema.

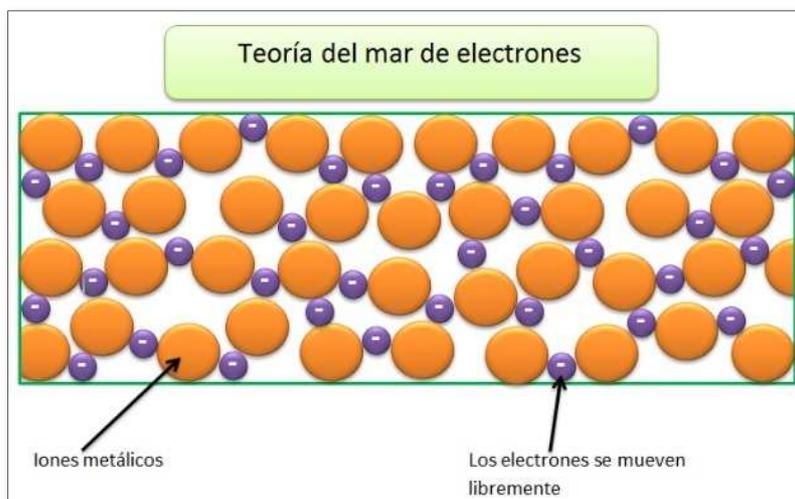


Figura 14: Esquema del modelo de gas-electrónico.

Fuente¹⁵.

B. **Modelo de las bandas:** Es un modelo explicativo más complejo y elaborado del enlace metálico. Propone que los electrones que constituyen un átomo tienen cuantificada su energía, lo que quiere decir que no puede haber dos electrones con los mismos números cuánticos en un determinado nivel energético, por tanto al unirse dos o más átomos para formar una red cristalina se produce una redistribución de los electrones para cumplir con este principio.¹⁶ Esta redistribución de electrones ocasiona que desaparezcan los orbitales atómicos y se formen orbitales moleculares (en la misma cantidad a los átomos enlazados) con energías muy similares, tan próximas entre ellas que todos en conjunto ocupan lo que se denomina una “banda de energía”.¹⁷ Dependiendo de la posición que ocupen los

¹⁵ Rafael Borneo, “Modelo de mar de electrones”, *Clases de química* (blog), acceso 30 de noviembre de 2018, <http://clasesdequimica.blogspot.com/2012/04/modelo-de-mar-de-electrones.html>.

¹⁶ FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

¹⁷ “El enlace químico: La Teoría de Bandas”, RODAS, acceso el 14 de diciembre de 2018, https://rodas5.us.es/file/dc3b91ee-0f7c-2f88-4176-5d95b43de30f/1/tema9_word_SCORM.zip/page_23.htm.

electrones de valencia dentro de la banda de energía, se podrán localizar en la banda de valencia (*BV*) o en la banda de conducción (*BC*):

La **banda de valencia** está formada por los orbitales moleculares que contienen electrones de valencia y que no participan en la conducción.

En cambio, la **banda de conducción** está conformada por los orbitales moleculares vacíos (más externos) que participan en la conducción.

Entre estas zonas de la banda de energía existe una diferencia energética, la cual se denomina energía de gap (E_G) también llamada **banda prohibida**, misma que clasifica a los materiales de la siguiente manera.

Aislantes, aquellos materiales que poseen una energía de gap muy elevada, en estos materiales es imposible que un electrón salte de la *BV* hacia la *BC* por lo que no existirá conducción de energía.

Semiconductores, que poseen una energía de gap no muy elevada, por lo que algunos electrones con la suficiente energía podrán saltar a la *BC*. El nivel de conducción en los semiconductores será directamente proporcional al nivel de temperatura a la que se encuentre. Es en esta clasificación se encuentra el Silicio y el Germanio.

Conductores, cuando los materiales poseen una energía de gap mínima, por lo que la *BV* y la *BC* estarán solapadas energéticamente, es decir que la *BC* estará llena y los electrones serán libres para conducir la energía.

2.2.2.2.2. Los semiconductores

En este tipo de materiales es común que la red cristalina se produzca mediante enlaces covalentes, son justamente los electrones compartidos en este enlace, a los que se deberá hacer saltar hacia la banda de conducción para poder transmitir la energía. Para hacer efectivo dicho salto es necesario suministrar cierta cantidad de energía, lo que en este caso de estudio se realizará mediante la iluminación, haciendo incidir los fotones de luz sobre los electrones libres contenidos en la red cristalina del silicio.

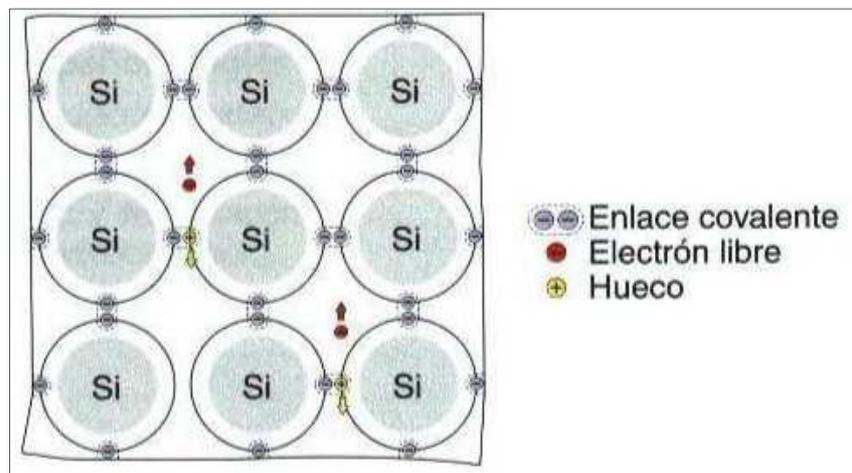


Figura 15: Estructura cristalina del silicio.
Fuente¹⁸.

A. **Energía óptima de gap:** Se la puede definir como la energía necesaria para vencer la banda prohibida (o romper el enlace covalente) y lograr el salto de un electrón de la BV hacia la BC. Justamente el suministro de esta energía lo pueden realizar las partículas de luz o fotones; sin embargo, si se quiere utilizar esta fuente, es necesario que la energía de gap del material semiconductor sea más pequeña que la proporcionada por los fotones.

¹⁸ Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998).

“Normalmente la energía de los fotones oscila entre los 0,4 y 3 eV, siendo la energía de gap característica de los materiales empleados. Por ejemplo, el silicio tiene una banda prohibida de 1,12 eV, y el germanio de 0,67 eV. En realidad, existe una energía de gap óptima para la conversión fotovoltaica cifrada en 1,5 eV, a la que los semiconductores como es el caso del silicio deben aproximarse”. (FUNIBER s.f.)

B. **Clases de semiconductores:** El proceso de purificación de los materiales es muy costoso, por lo que obliga a utilizar materiales con muchas impurezas. Ahora bien, dependiendo de la cantidad de impurezas presentes en el material se pueden clasificar en:

Semiconductores intrínsecos, son aquellos materiales que poseen una estructura molecular conformada por un solo tipo de átomo, es decir carecen prácticamente de impurezas. La conductividad de este semiconductor se realiza por pares de electrón-hueco producidos por generación térmica, por lo que a medida que aumenta la temperatura aumenta la conductividad, caso contrario se puede suponer que estos semiconductores se comportarán como aislantes. En esta clasificación se encuentra el Silicio y el Germanio.

Semiconductores extrínsecos, son aquellos semiconductores intrínsecos a los cuales se ha añadido impurezas facultativamente, a este proceso se le denomina dopado. Pueden ser de dos tipos: tipo n y tipo p.

En los **semiconductores tipo n** se introducen impurezas pentavalentes, cuyos átomos poseen cinco electrones de valencia. Así, cuatro electrones del átomo de impureza estarán formando el enlace covalente con los electrones

del semiconductor y el último electrón estará libre para portar carga. Ejemplo de impurezas pentavalentes son el fósforo, antimonio y el arsénico.

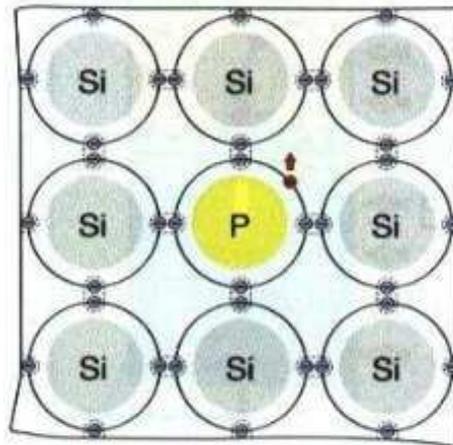


Figura 16: Silicio con impureza pentavalente.
Fuente¹⁹.

En los **semiconductores tipo p** se introducen impurezas trivalentes, cuyos átomos poseen tres electrones de valencia. En este caso solamente se podrán formar tres enlaces covalentes, por lo que el último enlace del semiconductor quedará con un hueco, que podrá ser llenado por electrones libres de los átomos próximos. Como ejemplo de impurezas trivalente tenemos el boro, el galio y el indio.

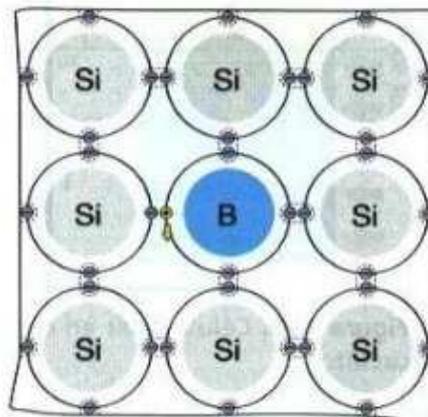


Figura 17: Silicio con impureza trivalente.
Fuente²⁰.

¹⁹ Ibíd.

²⁰ Ibíd.

2.2.2.2.3. La unión p-n

Cuando a un material semiconductor se le añaden impurezas tipo p por un lado e impurezas tipo n por otro, se forma una unión p-n con dos regiones, una n y otra p separadas (figura 18).

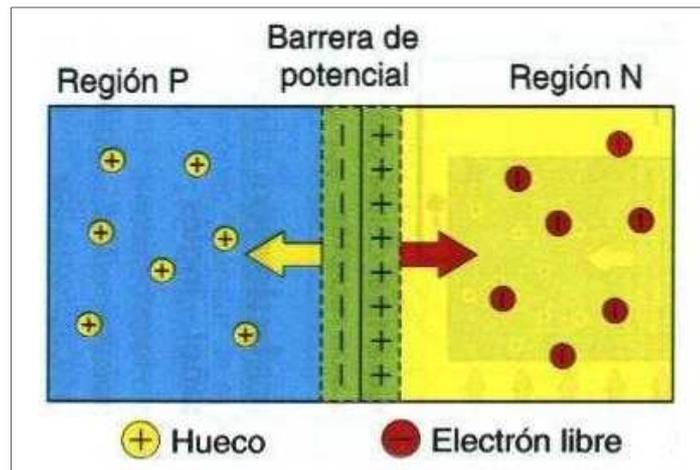


Figura 18: La unión p-n.
Fuente²¹.

Por la atracción entre cargas positivas y negativas, los electrones libres de la región n más próximos a la región p se difunden en esta, produciéndose un proceso llamado recombinación con los huecos más próximos de dicha región. En la región n se crean iones positivos y en la región p se crean iones negativos.

Por el hecho de formar parte de una red cristalina, los iones mencionados no se pueden mover y por lo tanto no son libres para recombinarse. Esta distribución de cargas en la unión establece un campo eléctrico o "barrera de potencial" que impide el paso del resto de electrones de la región n a la región p, deteniendo la difusión y manteniendo separados a los portadores de carga de cada región.

La unión p-n no conectada a un circuito exterior queda bloqueada y en equilibrio electrónico a temperatura constante. (Castejón y Santamaría 1998)

²¹ Ibíd.

2.2.3. Instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a la red eléctrica

2.2.3.1. Instalaciones aisladas de las redes eléctricas/ autónomas

Implementados generalmente en zonas rurales, que por su disposición geográfica no tienen acceso a la red eléctrica convencional. Frecuentemente es utilizado para cubrir pequeñas cargas producidas en el mismo lugar de la demanda. Dependiendo de su finalidad de uso se puede distinguir la siguiente clasificación:

Electrificación doméstica rural y de servicios públicos, utilizada para brindar energía a una comunidad y que puede ser a su vez centralizada o individual, dependiendo si el conjunto de viviendas se encuentra cerca unas de otras, o no.

Aplicaciones agrícolas y ganaderas, frecuentemente utilizadas para sistemas de bombeo de agua, iluminación de invernaderos y granjas.

Señalización y comunicaciones, para suministrar energía a estaciones base celulares, señales de SOS en carreteras, faros y otros, que por su ubicación en zonas inaccesibles resulta inviable el uso de las energías convencionales.

Otras aplicaciones, por ejemplo para centros de carga de automóviles eléctricos.

En el caso de estudio de la presente Tesis, se desarrolló la electrificación doméstica y de servicios públicos, para lo cual se tuvo las siguientes consideraciones:

1. *La energía disponible es limitada, por tanto, no se puede derrochar.*

2. *Si se consume en los mayores momentos de incidencia solar, la energía consumida proviene directamente de los paneles solares, con lo que obtenemos una mayor eficacia al no tener que suministrar la energía de la batería, y a la vez, se consigue alargar su vida útil.*
3. *Extremar las medidas de ahorro:*
 - a) *Desconectar las luces, TV, etc., cuando no haya nadie en una habitación.*
 - b) *Especial atención al consumo constante que tienen los aparatos que quedan en stand-by (bajo consumo). En este caso, se procederá a dotarlos de un interruptor para su total desconexión.*
4. *Aunque las instalaciones estén proyectadas para funcionar en los periodos de menor incidencia solar, es en esta situación cuanto más prudentes hay que ser a la hora de consumir.*
5. *Generalmente, una vez en funcionamiento, y transcurrido un plazo no muy lejano de tiempo, se produce un incremento de la energía demandada por parte del usuario.*
6. *Producir una potencia eléctrica similar al de una vivienda urbana equivale a una instalación muy costosa. (FUNIBER s.f.)*

Las instalaciones aisladas de la red dan lugar a dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

El sistema centralizado. - Consiste en un único sistema que cubre las necesidades del conjunto de usuarios.

El sistema individual. - Consiste en instalar individualmente el sistema completo en la vivienda o lugar a energizar. (Pérez Garrido 2009, 81)

2.2.3.1.1. Sistema individual aislado de la red

Se opta por este tipo de sistema cuando es el caso que las viviendas de la comunidad se encuentren alejadas unas de otras, o cuando algunas de estas se encuentren alejadas del núcleo central de la electrificación, lo que conlleva a gastos elevados no rentables. Este sistema se puede subdividir en dos clases, de acuerdo con el tipo de consumo:

A. **Electrificación de vivienda aislada sin inversor:** El criterio de este tipo de electrificación se dirige hacia aquellas viviendas mayormente de uso de fin de semana y que necesitan su propio MFV, donde el consumo de energía se realiza directamente a través de corriente continua, siendo la tensión de trabajo de 12 voltios o 24 voltios.



Figura 19: Instalación aislada con corriente continua.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

B. **Electrificación de vivienda aislada con inversor:** Es necesario que la energía producida por este sistema sea convertida de un sistema de corriente

continúa a un sistema de corriente alterna, para lo cual se requiere de un conjunto de equipos como son: inversores de corriente (para transformar la corriente continua en corriente alterna), reguladores de tensión y banco de baterías (permite almacenar la energía no utilizada). Como en la clasificación anterior, en esta también se requiere de un generador fotovoltaico por cada vivienda, la diferencia radica en el consumo que será de tipo permanente, con una demanda de energía aproximada de entre los 0,4-1,2 kWp y una superficie de instalación aproximada de 11 m². Este diseño puede ser concebido de dos formas: (FUNIBER s.f.)

Mediante **dos tipos de tensión**, una primera que servirá para la iluminación y elementos de consumo en corriente continua, los cuales se encuentran conectados directamente a la salida Vcc del controlador; y una segunda que servirá para el uso de electrodomésticos o pequeños aparatos eléctricos que funcionen con corriente alterna, los cuales se encuentran conectados a la salida del inversor CC/CA.

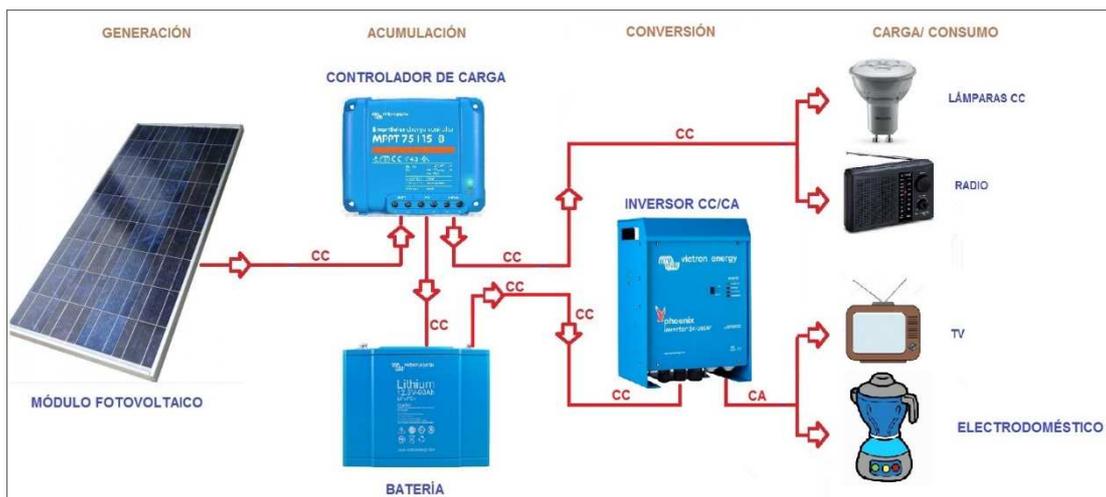


Figura 20: Instalación aislada con corriente continua y alterna.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Mediante un **solo tipo de tensión**, por conveniencia del usuario, todos los artefactos funcionan con corriente alterna proveniente del inversor.



Figura 21: Instalación aislada con corriente alterna.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

2.2.3.1.2. Sistema centralizado aislado de la red

Este tipo de sistema es la mejor opción cuando existe una agrupación de viviendas, teniendo como ventaja más relevante la disminución del dimensionamiento del sistema, en consecuencia un menor costo económico.

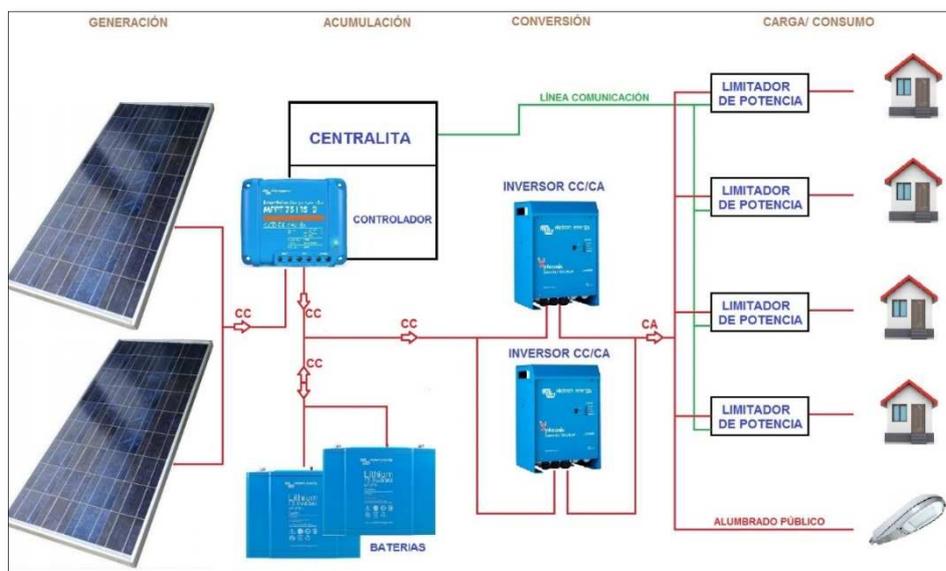


Figura 22: Instalación centralizada aislada de la red eléctrica.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

2.2.3.2. Sistemas conectados a la red eléctrica

Implementados con la finalidad de satisfacer la demanda eléctrica local de forma conjunta con las redes de distribución. De manera que, durante los períodos de alta irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien cubra la demanda de energía, entregando todo excedente de generación a la red convencional; por otro lado, en períodos de baja irradiación solar, la red eléctrica convencional facilitará la energía faltante para cubrir la demanda.

“Inicialmente, estos sistemas conectados a red se diseñaron y calcularon para el montaje de centrales fotovoltaicas. Después de observar que las centrales fotovoltaicas funcionaban correctamente, y en la medida que se avanzó en la electrónica de potencia que integra los inversores, no se tardó en pensar que estos sistemas podrían ser realizados a potencias menores, con el fin de ser empleados en pequeñas centrales domésticas adaptables a viviendas dotadas de acometida convencional de electricidad”. (Sanz Moya 2010)

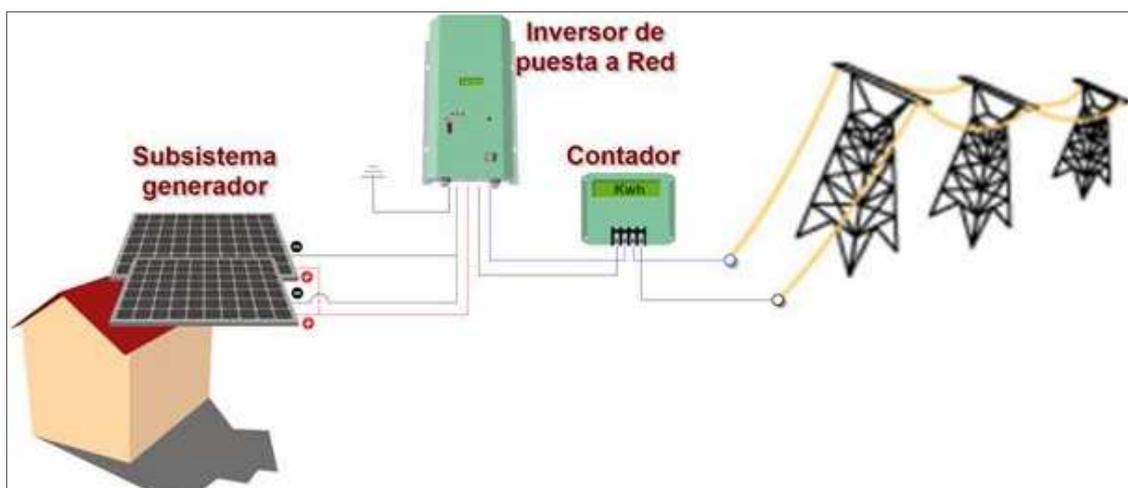


Figura 23: Sistema fotovoltaico conectado a red.
Fuente²².

²²“Sistemas fotovoltaicos conectados a red”, ikastaroak, acceso 23 de noviembre de 2018, https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/website_2_sistemas_fotovoltaicos_conectados_a_red.html.

2.2.4. Componentes de los Sistemas Solares Fotovoltaicos

En Perú, la fabricación, suministro y pruebas de los componentes de un sistema fotovoltaico se encuentran normados según la “Norma DGE: Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes en electrificación rural”, publicada en septiembre del 2015. Algunas de estas normas son:

IEC 61215: Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para la aplicación terrestre. Clasificación de diseño y aprobación de tipo.

IEC 61730-1: Requisito de seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV). Parte 1: Requisitos de construcción.

IEC 61730-2: Requisitos de seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV). Parte 2: Requisitos para ensayos.

2.2.4.1. Subsistema de generación

También llamado generador fotovoltaico, se encuentra constituido por un arreglo solar, el cual consta de un conjunto de módulos fotovoltaicos, también llamados paneles solares, que a su vez se encuentran constituidos por células fotovoltaicas que son la unidad básica de todo sistema fotovoltaico. Este subsistema tiene la función de transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, a través del proceso denominado efecto fotovoltaico.

2.2.4.1.1. La Célula fotovoltaica

Es un semiconductor generalmente silicio, al cual se le ha agregado impurezas trivalentes (boro) y sobre la que se difunde una fina capa de impurezas pentavalentes (fósforo) para obtener una unión p-n, con un contacto en la región p

en el cual se encuentran los huecos, y un contacto en la región n la cual al ser iluminada producirá una corriente.

La configuración básica de una célula solar es apreciable en la figura 24.

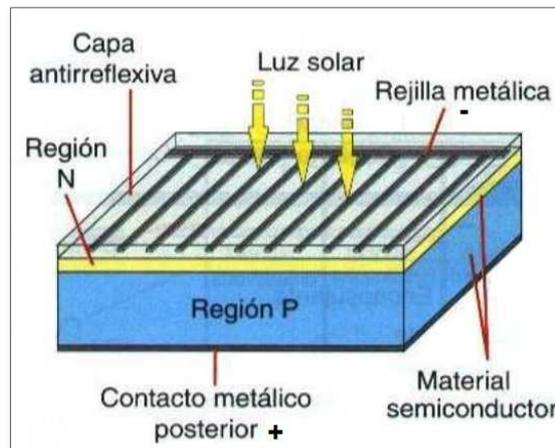


Figura 24: Configuración de una célula solar.
Fuente²³.

A. **Producción del silicio cristalino:** Para obtener este valioso material, es necesario atravesar las siguientes etapas:

Obtención del silicio metalúrgico, “es imprescindible para la producción del silicio cristalino, obtener antes silicio grado metalúrgico (Si = 97-98%). La tecnología más usada a escala mundial se basa en la reducción corbotérmica de los minerales de sílice (cuarcita, arena sílice y cuarzo) empleando hornos de arco eléctrico con electrodo sumergido, que involucra una energía durante el proceso de entre 10,8 kWp y 12,0 kWp por kilogramo de silicio”.²⁴

Purificación, aun con el grado de pureza obtenido en el silicio metalúrgico es insuficiente para las aplicaciones solares, por eso se vuelve a someter a

²³ Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998),

²⁴ Irvin Cornejo, “Proceso metalúrgico: Obtención del Si-MG”, *Obtención del silicio* (blog), 22 de abril de 2016, <http://formasobtenersilicio.blogspot.com/>.

procesos químicos como la hidroclicación, destilación y descomposición térmica, hasta finalmente obtener silicio grado semiconductor.²⁵

Crecimiento de los cristales a alta temperatura, según el proceso seguido a la producción del silicio grado semiconductor, aquí se puede obtener silicio monocristalino o policristalino.

El **silicio monocristalino** se fabrica en forma de cilindros con un diámetro aproximado de unos 13 cm y con longitudes hasta 1.5 m, a partir de un cristal germen el cual se encuentra en uno de los extremos de una varilla, la que a su vez es introducida en un crisol en el cual se encuentra fundido el silicio grado semiconductor junto con una pequeña porción de impurezas trivalentes (boro). (FUNIBER s.f.)

El **silicio policristalino** en este caso, su fabricación se realiza vertiendo el silicio y el boro (los cuales se encuentran fundidos) en moldes rectangulares, en los que la principal preocupación es el control de la temperatura de enfriamiento.

Fabricación de la célula fotovoltaica, una vez obtenido los cristales de silicio, estos son cortados en obleas de forma circular (silicio monocristalino) o rectangular (silicio policristalino) perdiéndose hasta un 50% del material, para pasar luego a un proceso de limpieza de impurezas consecuencia del corte. Luego se realiza un proceso de dopado por difusión a altas temperaturas, para ello se introducen las obleas en un horno en el cual se introducen impurezas pentavalentes (fósforo) en forma de vapor, produciéndose así una unión p-n.²⁶

²⁵ "Obtención y purificación del silicio", sfe-solar, acceso 12 de diciembre de 2018, <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-obtencion-purificacion-del-silicio/>.

²⁶ Eloy Sobrino, "La célula fotovoltaica", s.f., 14.

“Con la finalidad de aumentar su rendimiento, el semiconductor tipo n es sometido a un proceso llamado texturización para crear micropirámides superficiales que servirán para disminuir la reflexión en la superficie de la célula, sobre esta superficie se coloca un contacto eléctrico negativo (rejilla metálica) el cual deja al descubierto la mayor cantidad de superficie receptora de luz solar, lo que se complementa con una capa antireflexiva que facilitará la absorción de fotones; el contactor positivo se conseguirá cubriendo la totalidad de la capa posterior con un metal”. (Castejón y Santamaría 1998)

Integración de la célula en los MFV, si bien una célula fotovoltaica ya se encuentra constituida, no es posible su uso ya que por sí solas son muy frágiles, no se encuentran aisladas y en especial sus características eléctricas son insuficientes. Para superar esta limitación es necesario realizar agrupaciones en serie y en paralelo de las células para entregar la tensión y corriente adecuadas, protegidas físicamente de la intemperie y aisladas del exterior a través de un módulo fotovoltaico, que brinda a la vez rigidez mecánica al conjunto.



Figura 25: Fabricación del silicio hasta su montaje en módulos.
Fuente²⁷.

²⁷ “Proceso de producción de una celda FV”, Electricidad Gratuita, acceso 13 de diciembre de 2018, <http://www.electricidad-gratuita.com/produccion-celda-fvh-fv4.html>.

B. Tipos de células fotovoltaicas: Existen varios tipos de células fotovoltaicas, dependiendo de los materiales con los que han sido fabricadas.

Células de silicio monocristalino, “caracterizado por una disposición ordenada y periódica, de forma que solo tiene una orientación cristalina, donde todos los átomos están dispuestos simétricamente. Presenta un color azul oscuro y con un cierto brillo metálico. Alcanzan rendimientos de laboratorio del 24% y un rendimiento directo de 15 – 18%”. (Romero 2015)

Células de silicio policristalino, “depositado sobre otro sustrato, como una capa de 10 – 30 micrómetros y tamaño de grano entre 1 micrómetro y 1 milímetro. Las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Alcanzan rendimientos de laboratorio del 19 – 20% y un rendimiento directo de 12 – 14%”. (Romero 2015)

Células de silicio amorfo, “compuesto hidrogenado de silicio, no cristalino, depositado sobre otra sustancia con un espesor de 1 micrómetro. Presentan un color marrón y gris oscuro. Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor y fabricación más simple y barata, aunque con rendimientos de laboratorio del 16% y un rendimiento directo menor del 10%”. (Romero 2015)

Células de arseniuro de galio, “son quizá las más indicadas para la fabricación de módulos, ya que su rendimiento teórico alcanza límites cercanos al 27% - 28% en su versión monocristalina. El problema principal radica en que este material es raro y poco abundante, hecho por el cual no se ha empezado su manipulación hasta hace relativamente poco tiempo, estando su tecnología poco avanzada y con costes elevados. Una característica interesante del AsGa es su elevado coeficiente

de absorción, que hace que con poco material se obtenga una eficiencia elevada. Otra particularidad es que puede trabajar a temperaturas altas con menores pérdidas que el silicio monocristalino, lo que permite ser utilizado con ventaja en sistemas de concentración”. (Alcor 2002)

Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre, “en este tipo de células se utilizan ambas tecnologías, la ventaja de este sistema radica en que se utiliza muy poco material cativo en un proceso fácil de fabricación. Los rendimientos máximos obtenidos en laboratorio no superan el 10%, viéndose disminuidos a la mitad una vez que se llega a la práctica industrial”. (Alcor 2002)

Células bifaciales, “esta tecnología de fabricación consiste en crear una doble unión (normalmente p-n-p) de tal forma que la célula sea activa tanto en la cara frontal como en su cara posterior, permitiendo la absorción de la radiación frontal y la reflejada en el suelo (albedo). Así la energía total producida puede alcanzar valores del 30%, obteniendo un mayor rendimiento pero a un coste más elevado”. (Alcor 2002)

2.2.4.1.2. El módulo fotovoltaico

Llamado también panel solar, “está formado básicamente por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco”.²⁸ Debido a que las células poseen características eléctricas insuficientes para alimentar a las cargas convencionales, se hace necesario su agrupación en serie para reunir las condiciones de tensión y corriente

²⁸ Tomás Díaz Corcobado y Guadalupe Carmona Rubio, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (Mc Graw Hill, s.f.)

adecuadas. Así también, el módulo fotovoltaico cumple la función de proteger físicamente de la intemperie y aísla eléctricamente del exterior a las células, dando rigidez mecánica al conjunto.²⁹ Las células que integran un panel fotovoltaico, en la medida posible deben poseer un rango parámetros eléctricos muy similares, para evitar descompensaciones que se producirían en el interior del módulo si unas generan más corriente que otras.³⁰

A. **Características físicas:** dependiendo del fabricante, los módulos fotovoltaicos tienen diversas formas y estructuras, pero por lo general constan de los siguientes componentes:

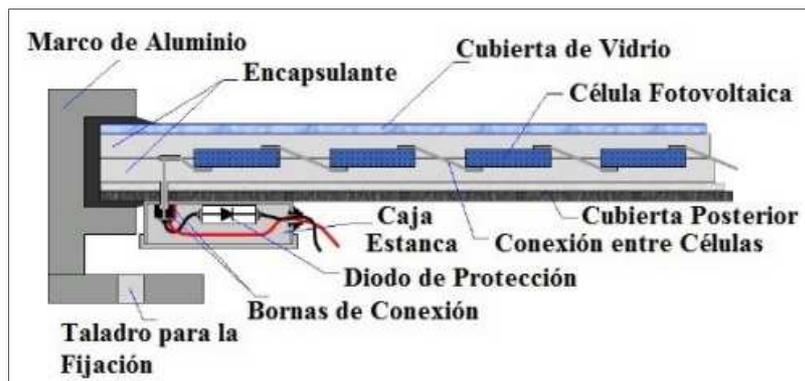


Figura 26: Corte transversal de un MFV.
Fuente³¹.

Cubierta exterior, “suele ser de vidrio templado de entre 3 mm y 4 mm de espesor, con muy buena transmisión de la radiación solar, proporciona protección contra los agentes atmosféricos y los impactos (granizos, actos vandálicos, etc.). La superficie exterior del vidrio es antirrefleтора y está tratada para impedir la retención del polvo y la suciedad, la superficie interior generalmente es rugosa, lo que permite una buena adherencia con el

²⁹ Oscar Perpiñan Lamigueiro, *Energía solar fotovoltaica* (Versión 1.7, 2014).

³⁰ E. Alcor, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (s.f.), 36.

³¹ Ramiro Caballero Díaz, “Diseño de una instalación fotovoltaica de 300 kW sobre cubierta” (Proyecto de fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, 2014).

encapsulante de las células, además de facilitar la penetración de la radiación solar”. (Castejón y Santamaría 1998, 28)

Capas encapsulantes, cumplen función de proteger las células fotovoltaicas y los contactos de interconexión, el material utilizado debe presentar una excelente transmisión de la radiación, así como una nula degradación frente a radiaciones ultravioletas, a consecuencias de disminuir el rendimiento del módulo (por ejemplo EVA). El encapsulante protegerá también de las vibraciones e impactos que se puedan producir, así como actuar como adhesivo entre las cubiertas exterior y posterior. (Alcor 2002, 38)

Células fotovoltaicas, “el conexionado de las células de un módulo fotovoltaico se realiza con cintas metálicas soldadas o incrustadas sobre la rejilla de conexión eléctrica de la cara frontal de cada célula, la interconexión entre células se realiza uniendo las cintas de la cara frontal (negativo) de una célula con la cara posterior (positivo) de la célula siguiente”. (Castejón y Santamaría 1998, 29)

Cubierta posterior, generalmente se usa una capa de Tedlar (polivinilo fluoruro) de color blanco ya que favorece la eficiencia del módulo, junto con la cubierta frontal protegen al módulo de los fenómenos ambientales.

Marco soporte, es el componente que brinda la rigidez y resistencia mecánica al módulo, generalmente de aluminio anodizado, aunque en ocasiones es utilizado el acero inoxidable.

Caja estanca, o caja de conexiones, incorpora en su interior los bornes positivo y negativo para la conexión de módulos, así como los diodos de paso.

Junta periférica, ubicada entre el marco soporte y los elementos que forman el módulo, su función es absorber posibles deformaciones y vibraciones del módulo.

B. **Características eléctricas:** Un módulo fotovoltaico tiene una relación directa con los parámetros característicos de sus células y con la cantidad y el conexionado (serie-paralelo) de las mismas.³² De la misma manera, sus tensiones de trabajo se encuentran directamente relacionados a las tensiones de las baterías, por lo cual se encuentran limitados a ser múltiplos de doce.³³

Es deducible que al igual que en las células fotovoltaicas, las características eléctricas de los módulos se encuentran determinados por su curva tensión-intensidad y tensión-potencia a ciertas condiciones estándar de radiación solar (1000 W/m^2), iluminación AM (1,5) y temperatura ($25 \text{ }^\circ\text{C}$).³⁴

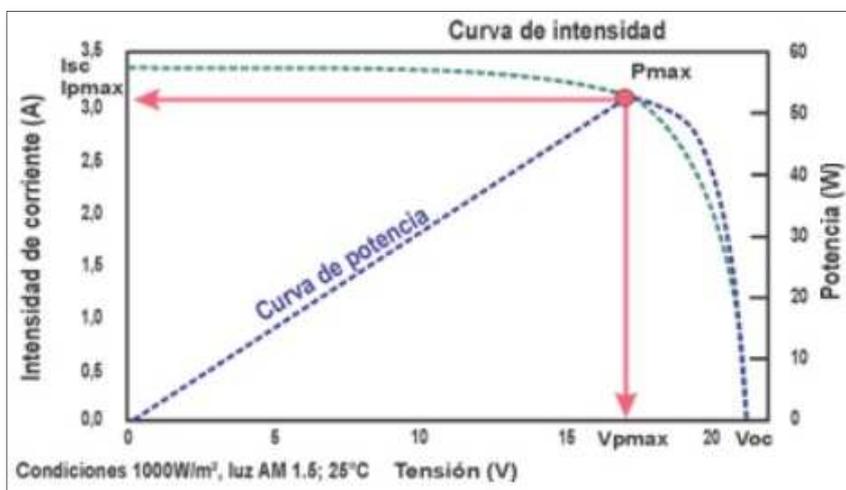


Figura 27: Curvas características V-I (línea verde) y V-P (línea azul).

Fuente³⁵.

³² Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998), 30.

³³ FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

³⁴ *Ibíd.*

³⁵ Autosolar Energy Solutions SLU, "La curva de intensidad-voltaje", *Aspectos Técnicos* (blog), 09 de agosto de 2018, <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga>.

Esta curva sirve de base para la determinación de las especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos.³⁶

Corriente de corto circuito (I_{SC}), es el valor de corriente máxima que puede obtenerse en un módulo fotovoltaico, se produce a parámetros de tensión cero y por lo tanto a potencia cero.

Tensión en circuito abierto (V_{OC}), es el valor de tensión máxima que puede obtenerse en un módulo fotovoltaico, al contrario que la I_{SC} este valor se obtiene a parámetros de corriente cero, y depende la forma de construcción de las células que lo conforman.

Potencia máxima o de pico ($P_{m\acute{a}x}$), es el que la potencia entregada por el módulo es máxima. Se da en condiciones de corriente y tensión de tal manera que su producto sea siempre la máxima, entonces aplicando la ecuación 12:

Tensión en el punto de potencia máxima (V_{ppm}), o tensión nominal, es aquel valor que entrega el módulo fotovoltaico cuando alcanza su máxima potencia, bajo una irradiancia y temperatura determinadas. Obviamente su valor será menor que la V_{OC} .

Intensidad en el punto de potencia máxima (I_{ppm}), o corriente nominal, corresponde también al valor que entrega el módulo cuando alcanza su máxima potencia bajo condiciones de irradiancia y temperatura determinadas. Su valor será menor a la I_{SC} .

³⁶ FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

Factor de forma (FF), se define como el cociente entre el área de la curva v-i generada entre la tensión y corriente a máxima potencia, y el área de la corriente de corto circuito y la tensión en circuito abierto. Este parámetro es muy importante porque da una idea de la calidad del módulo fotovoltaico, su valor es adimensional y mientras más se acerque a la unidad será mucho mejor.

Eficiencia (η), o rendimiento de conversión, indica el porcentaje de energía solar que se convierte en energía eléctrica. Es el resultado del cociente entre la potencia máxima obtenida en el módulo fotovoltaico y la potencia de la energía solar que incide sobre su superficie.

Corriente inversa límite, es un parámetro de los módulos fotovoltaicos que representa la capacidad de transporte de la máxima corriente I_{ppm} de trabajo como corriente inversa con una tensión mayor o igual a la del circuito abierto sin que se produzcan daños permanentes en este. Se produce cuando la tensión de trabajo del generador fotovoltaico (GF) en el que está integrado el módulo es mayor que su tensión de circuito abierto, momento en el que la corriente, desde el punto de vista del módulo fotovoltaico, cambia de signo y este queda polarizado en sentido inverso, trabajando de este modo como receptor.

Coeficiente de intensidad-temperatura (α), representa la variación de la corriente de corto circuito por variación de unidad de la temperatura en grados centígrados, se representa mediante la siguiente unidad: $|mA/^{\circ}C|$ ó $\%/^{\circ}C$.

Coeficiente tensión-temperatura (β), representa la variación de la tensión de circuito abierto por variación de unidad de la temperatura en grados centígrados, se expresa mediante la siguiente unidad: $|mV/^{\circ}C|$ ó $\%/^{\circ}C$.

Estas características se tienen que especificar de acuerdo con dos tipos de funcionamiento.³⁷

Condiciones estándar de medida (*CEM* – Standard Test Conditions – *STC*):

Irradiancia:	1000 W/m ² .
Espectro solar:	AM 1,5G.
Temperatura de célula:	25 °C.

Condiciones normales de operación:

Irradiancia:	800 W/m ² .
Espectro solar:	1,5G
Temperatura normal de operación:	TONC
Temperatura ambiente:	20 °C.

Punto caliente: Este concepto se encuentra íntimamente relacionado con la corriente inversa límite. “Si en un módulo fotovoltaico con varias células en serie, se produce el sombreado de una célula, esta tiende a funcionar como un receptor, disipando la potencia. Este efecto recibe el nombre de punto caliente debido al calentamiento localizado en la célula o células sombreadas del módulo. Para evitar el riesgo de un daño irreversible en el módulo como consecuencia de este calentamiento, se utilizan diodos de paso en paralelo con las células asociadas en serie”.³⁸

2.2.4.1.3. Efectos de la variación de la irradiancia y la temperatura

Cuando realizamos aplicaciones terrestres de los módulos fotovoltaicos, generalmente las condiciones de funcionamiento son variables, con valores de

³⁷ Ministerio de Energía y Minas, “Norma GDE: Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus Componente para Electrificación Rural”, septiembre de 2015.

³⁸ Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998).

irradiancia que normalmente oscilan entre 0 W/m² a 1000 W/m² y con temperaturas de hasta 50 °C por encima de la temperatura de trabajo.

A. **Efecto de la variación de la irradiancia:** Cuando en un módulo fotovoltaico la irradiancia solar varía se produce consecuentemente una variación lineal de la corriente de corto circuito, mientras que la tensión no se ve muy afectada razón por la cual se considera constante. Este valor de la corriente se puede deducir a partir de la siguiente ecuación:

$$I_{SC(G)} = G * \frac{I_{SC(CEM)}}{1000} \dots \dots \dots (13)$$

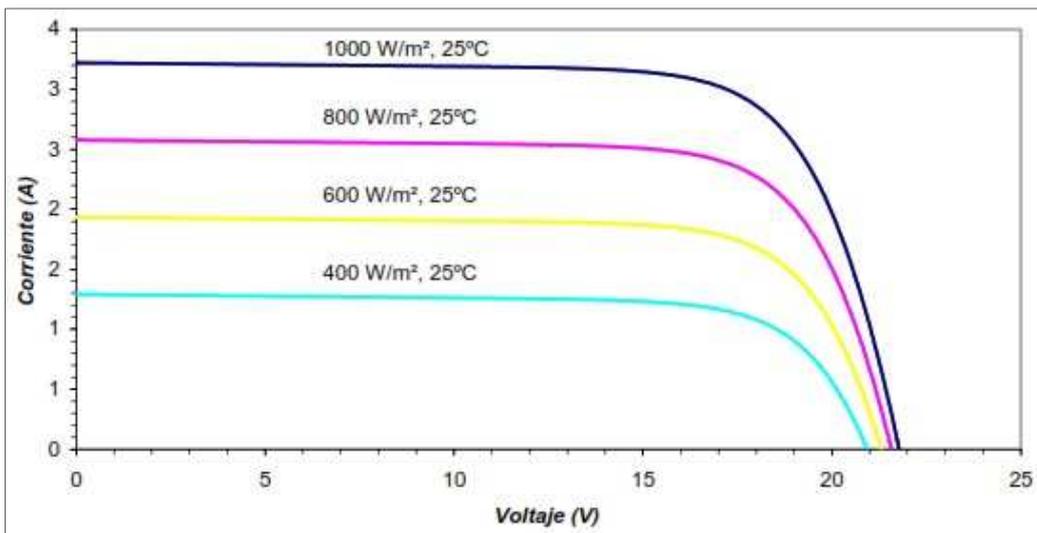


Figura 28: Efecto de la irradiancia sobre la curva V-I.
Fuente³⁹.

B. **Efecto de la variación de la temperatura:** por otro lado, el aumento de la temperatura provoca una disminución en la tensión de circuito abierto, en contraparte se produce una variación de la corriente de corto circuito muy pequeño.

³⁹ Miguel Alonso Abella y Faustino Chenlo Romero, “Sistemas de Bombeo Fotovoltaico”, (tesis de máster, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, s.f.), 10.

En general los efectos de la temperatura se pueden resumir en las siguientes afirmaciones:

La tensión de circuito abierto disminuye con la temperatura.

La corriente de corto circuito aumenta con la temperatura.

La potencia disminuye con la temperatura, por lo tanto también la eficiencia.

Así también, la temperatura de trabajo de una célula solar depende de la temperatura ambiente y de la irradiancia, se calcula aproximadamente mediante la siguiente fórmula:

$$T_w = T_a + G * \frac{TONC - 20}{800} \dots \dots \dots (14)$$

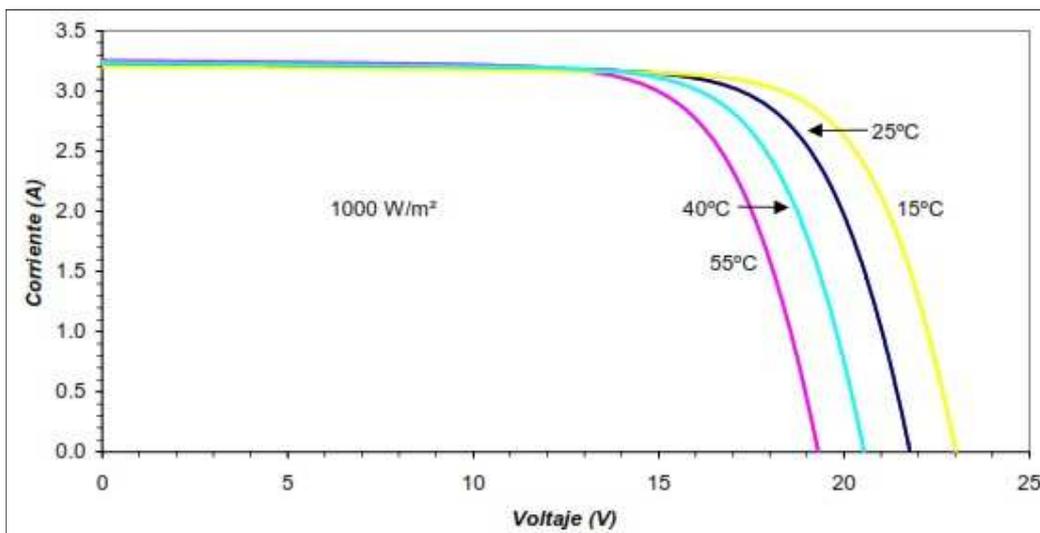


Figura 29: Efecto de la temperatura sobre la curva V-I.

Fuente⁴⁰.

2.2.4.1.4. Tipos de conexión de módulos

Frecuentemente tanto la tensión como la corriente que brinda un módulo fotovoltaico no es suficiente para satisfacer las necesidades de generación, por lo que es conveniente agruparlas mediante conexiones en serie, paralelo o en

⁴⁰ Ibíd.

combinación de ambos. Con la finalidad de evitar desequilibrios los parámetros eléctricos de cada módulo deben ser similares.

A. **Conexión en serie:** se realiza con la finalidad de aumentar la tensión de trabajo del sistema de generación.

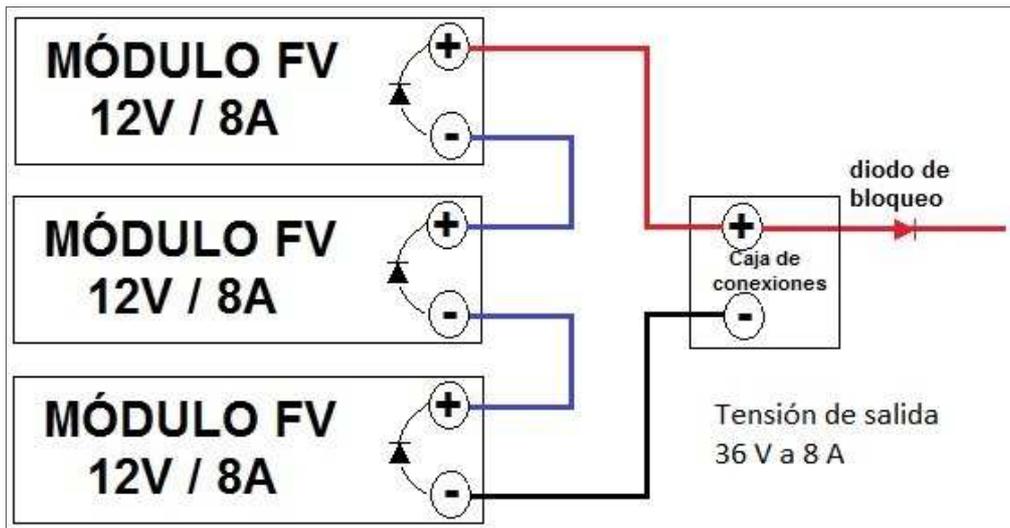


Figura 30: Conexión en serie de MFV.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.

B. **Conexión en paralelo:** se realiza cuando para aumentar la corriente de generación, por consiguiente, también la potencia de generación.

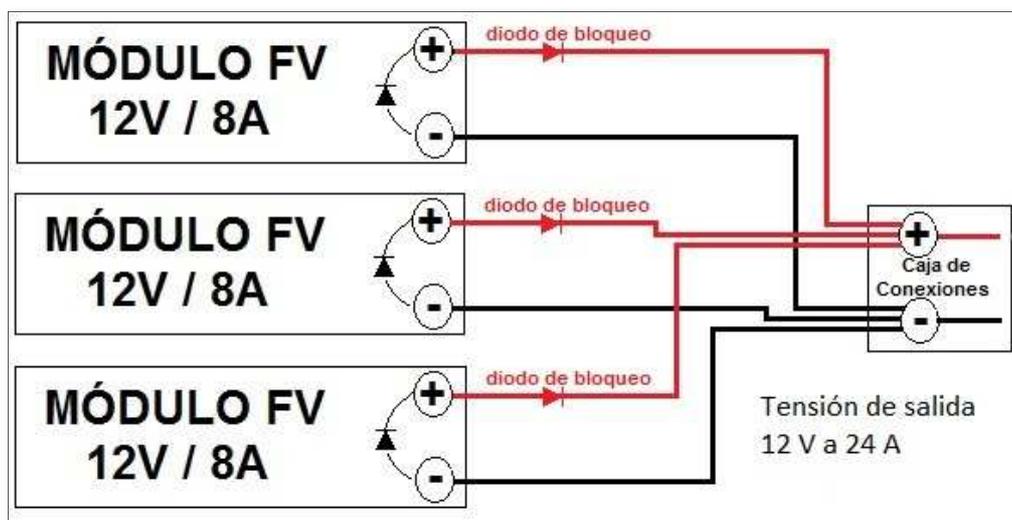


Figura 31: Conexión en paralelo de MFV.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.

C. **Conexión mixta:** este sistema de conexionado permite variar tanto la corriente como la tensión del sistema de generación.

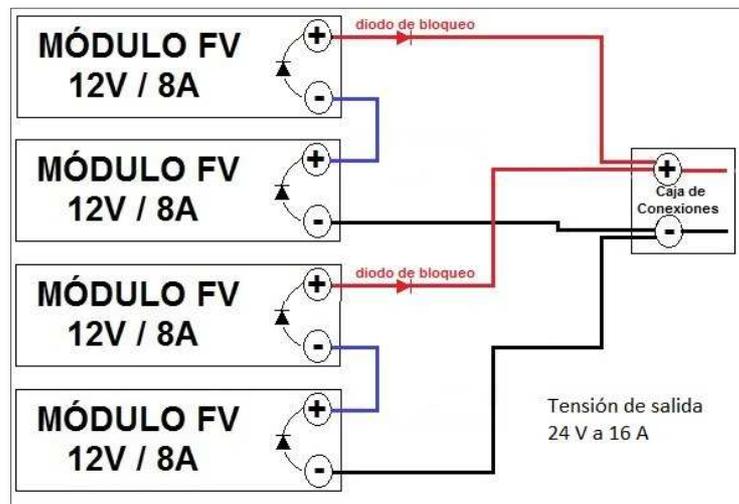


Figura 32: Conexión en serie/paralelo de MFV.
Fuente: Elaboración propia de El autor.

2.2.4.2. Subsistema de acumulación

Se encuentra conformado por las unidades de almacenamiento, o también llamadas baterías (las cuales deben ser recargables). Debido a las limitaciones de radiación solar diaria, es necesario su implementación en sistemas fotovoltaicos aislados de la red. La fiabilidad de un sistema fotovoltaico aislado depende directamente de este sistema. Es así, que el subsistema de acumulación no solo aportará la energía cuando no es obtenida por el subsistema de generación, sino que deberá cumplir con lo siguiente:

Suministrar una potencia instantánea, o durante un tiempo limitado, superior a la que los paneles instalados podrían generar, aún en sus mejores condiciones de radiación solar.

Mantener un voltaje estable. Por ejemplo, la conexión de un acumulador de 12 voltios provoca que el módulo se ajuste a la tensión de dicho acumulador, según

la curva característica $v-i$, independientemente de las condiciones de incidencia luminosa. (FUNIBER s.f.)

2.2.4.2.1. Características eléctricas:

Las características eléctricas que distinguen a los acumuladores solares son la tensión nominal y su capacidad de almacenamiento.

A. **Tensión nominal:** este parámetro es el voltaje del acumulador, el cual se encuentra en constante variación en función del estado de la carga y descarga. En consecuencia, dependerá de los siguientes factores:

Carga del acumulador, es el proceso mediante el cual la batería almacena energía eléctrica en forma de energía electroquímica, para lo cual se parte de la suposición de que el proceso se realiza a tensión constante. Como se puede observar en la Figura 33, este proceso pasa por tres estadios diferentes. (Muñoz 2014)

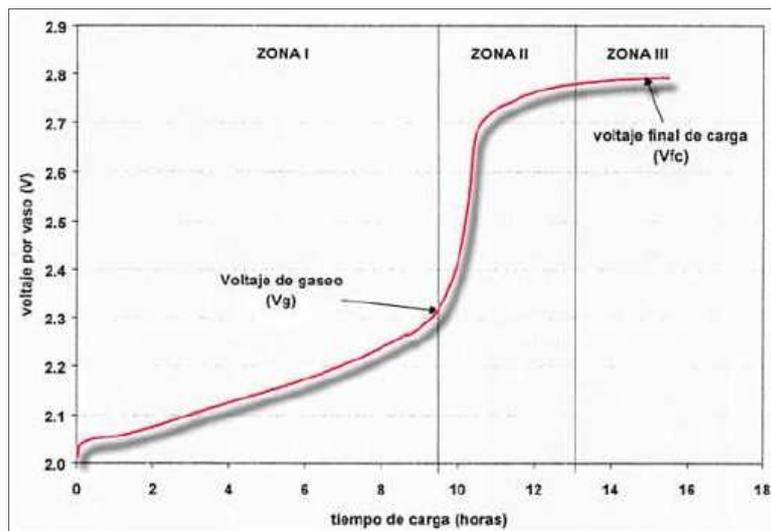


Figura 33: Estadios de carga de un acumulador.
Fuente⁴¹.

⁴¹ Vicente Muñoz, "Suelo Solar: Guía de los acumuladores de energía solar fotovoltaica", Suelo Solar, 30 de junio de 2014, <https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=10037>

En la Zona I el voltaje va aumentando de forma lineal, en esta, toda la corriente que circula a través de la batería se utiliza para restablecer los materiales activos. En la Zona II el voltaje sufre un incremento brusco. En este proceso ocurre una superposición de dos fenómenos, primero se siguen produciendo los materiales activos de la Zona I, y segundo los reactivos que producen los materiales activos comienzan a escasear por lo que parte de la corriente que llega a la batería se convierte en la hidrólisis del agua del electrolito produciéndose un fenómeno llamado gaseoso y la tensión que comienza a manifestarse se denomina voltaje gaseoso (V_g). En la Zona III el voltaje comienza a alcanzar un valor estable. En esta etapa los materiales activos se han agotado y toda la corriente que llega la batería se invierte en hidrólisis del agua. El voltaje estable que alcanza la batería al final de la carga se denomina voltaje final de carga (V_{fc}). (Muñoz 2014)

“Este voltaje final de carga depende directamente de la corriente de carga, así como de la temperatura a la que se produzca el proceso. Es decir, mientras más rápido sea el proceso de carga (mayor corriente en menos tiempo) mayor será el V_{fc} y mayor el estado de carga final (Figura 34)”. (FUNIBER s.f.)

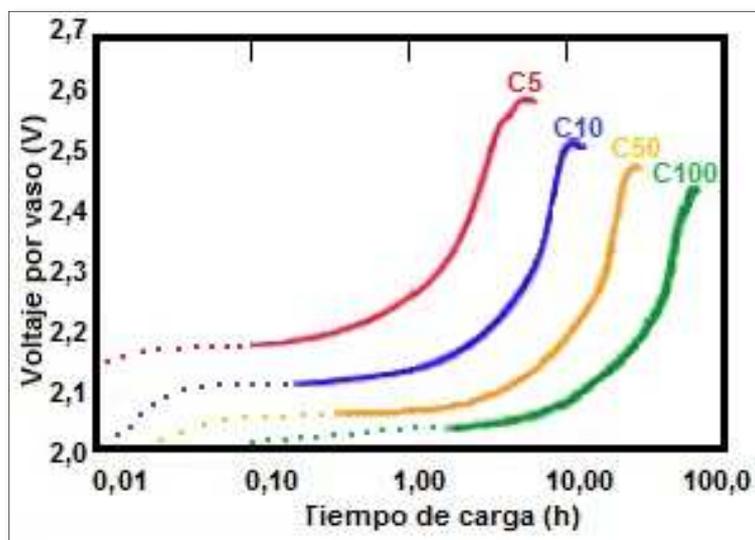


Figura 34: Dependencia de V_{fc} con la corriente de carga.
Fuente: FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

También, se cumple que el voltaje final de carga es inversamente proporcional a la temperatura en el proceso de carga de la batería (Figura 35).

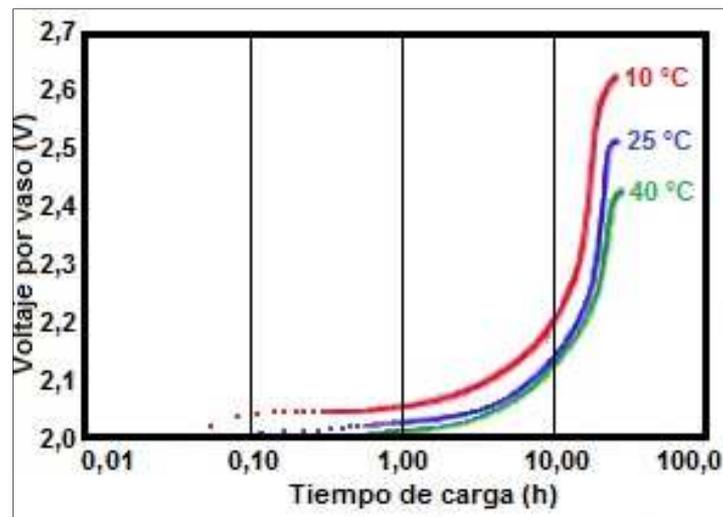


Figura 35: Dependencia de V_{fc} con la temperatura de carga.
Fuente: FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

Descarga del acumulador, proceso inverso al visto anteriormente, la energía electroquímica del acumulador se transforma a energía eléctrica, en efecto se supone que la descarga se realiza a corriente constante. Este proceso se rige según la curva característica mostrada en la figura 36.

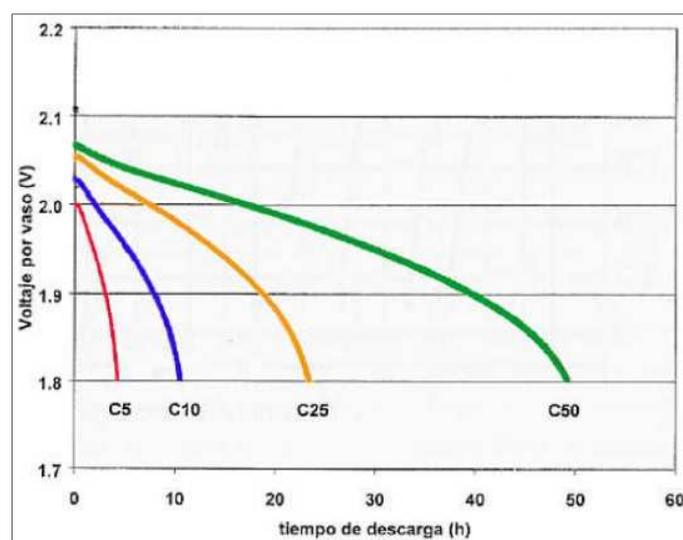


Figura 36: Perfil de descarga de un acumulador.
Fuente⁴².

⁴² *Ibíd.*

De la misma manera que el proceso de carga, el proceso de descarga también depende de la corriente de descarga y de la temperatura del proceso.

Mientras mayor sea la intensidad de descarga, menor será el tiempo que la batería pueda suministrar carga.

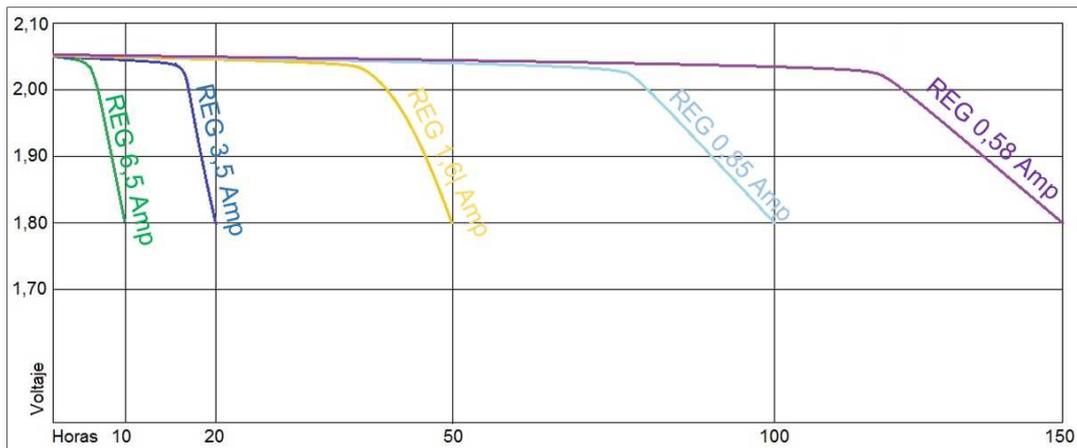


Figura 37: Influencia de la corriente en la descarga de un acumulador.

Fuente: FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica* (s.f.)

Mientras menor sea la temperatura del proceso, menor será también la capacidad al aumentar la viscosidad del electrolito.

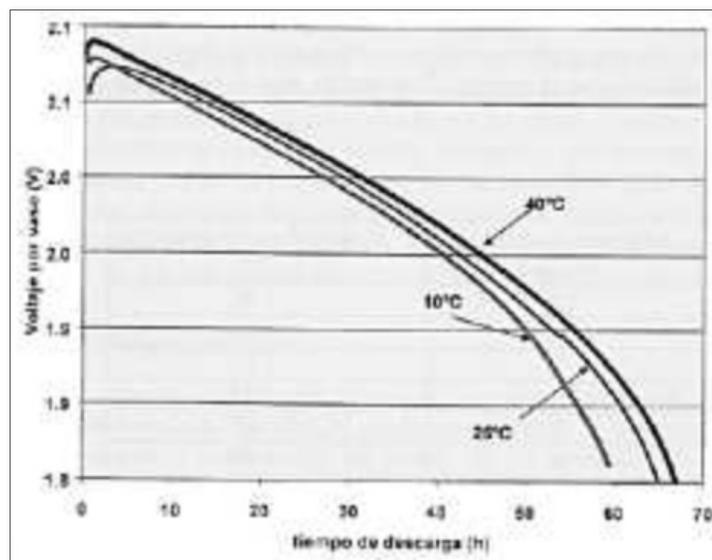


Figura 38: Influencia de la temperatura en la descarga de un acumulador.

Fuente⁴³.

⁴³ Ibíd.

Autodescarga, este valor debe ser suministrado por el fabricante, e indica el porcentaje de descarga que sufre un acumulador sin utilizarse durante un periodo de tiempo dado. Según la Norma DGE: Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural, este valor no deberá superar un porcentaje máximo mensual:

6% en lugares con temperatura promedio, en el lugar de instalación, superiores a 30 °C.

8% en lugares con temperaturas promedio, en el lugar de instalación entre 15 °C y menos de 30 °C.

3% en lugares con temperaturas promedio, en el lugar de instalación, inferiores a 15 °C.

Ciclo de carga/descarga, en la aplicación de un sistema solar fotovoltaico, el subsistema de acumulación se encuentra sometido a dos tipos de ciclos de carga y descarga:

Ciclo diario superficial corresponde a un ciclo normal de carga y descarga diario (día y noche), y cuyo valor de profundidad de descarga no debe superar el rango del 15-20%.

Ciclo estacional corresponde al valor de profundidad de descarga máxima durante el periodo de autonomía determinado, en este caso la profundidad de descarga no debe superar el rango del 70-80%.

Profundidad de descarga (DOD), se define como la relación en porcentaje entre la capacidad descargada de un acumulador en un ciclo y la capacidad de

este a plena carga. Los acumuladores utilizados en los sistemas solares fotovoltaicas son del tipo de ciclo profundo, los cuales están diseñados para soportar grandes descargas del orden del 80% y con aproximadamente 1500 ciclos de vida.

Profundidad de descarga máxima ($PD_{m\acute{a}x}$) es el porcentaje que resulta del cociente entre la capacidad descargada de un acumulador al final del periodo de autonomía y la capacidad nominal de este a plena carga, y que por encima del cual el acumulador podría sufrir daños irreversibles.

Periodo de autonomía (DA) viene a ser el número de días en los cuales el acumulador debe ser capaz de suministrar energía al circuito de utilización, en ausencia de total de radiación solar.

Estado de carga (SOC), es la contraparte de la profundidad de descarga y viene a ser el complemento de este, se define como la relación en porcentaje entre la capacidad disponible del acumulador y su capacidad a plena carga. Según la Norma DGE: Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural, un acumulador habrá cumplido su tiempo de vida cuando su capacidad real sea menor al 80% de su capacidad nominal a un mismo régimen de descarga.

Temperatura de operación, como ya se estudió en párrafos precedentes, la temperatura es un factor que afecta directamente la eficiencia de un acumulador. Con lo que se puede deducir que, a mayor temperatura la vida útil del acumulador será consecuentemente menor.

Eficiencia de carga, este parámetro viene dado por el cociente entre la energía real almacenada en el acumulador y la energía requerida para realizar dicho proceso.

B. **Capacidad del acumulador:** ...

Es la intensidad de corriente que puede suministrar el acumulador en un tiempo determinado (horas) y se mide en unidades de amperios-hora (A.h). Como se puede observar en las imágenes 34 y 36, los tiempos de carga y descarga de las curvas características de los acumuladores se encuentran expresados por un término y un subíndice (C_x), que expresa la capacidad del conductor para un determinado tiempo de descarga, de esta manera si se tiene C_5 para un tiempo de descarga de 5 horas, C_{10} para un tiempo de descarga de 10 horas y así sucesivamente. Por ejemplo, si tenemos un acumulador de 200 A.h C_{10} , quiere decir que es capaz de suministrar 20 amperios durante un periodo continuo de 10 horas. Ahora bien, la energía contenida en un acumulador viene dada por la unidad Watt.hora (W.h) y que resulta del producto de la capacidad de este y la tensión media durante la descarga. (FUNIBER s.f.)

2.2.4.2.2. **Componentes del acumulador**

Los elementos constructivos más importantes de un acumulador son:

A. **Placas:** ...

Consisten en una rejilla con material activo, a menudo denominados también electrodos. Generalmente en cada célula hay un número determinado de placas conectadas en paralelo a un bus situado en la parte superior de las placas, tanto

positivo como negativo. La profundidad del ciclado de un acumulador depende del grosor de las placas. Por ejemplo en las baterías de arranque se suelen utilizar placas finas en gran cantidad, dando lugar a una gran superficie de reacción para el suministro de altas corrientes en un periodo de tiempo corto, pero haciendo que no sean muy resistentes a descargas profundas y prolongadas; por el contrario, las placas gruesas permiten descargas profundas sobre largos periodos de tiempo, manteniendo una buena adhesión de la materia activa a la rejilla. (Abella s.f.)

Placas positivas, “constituidos por una serie de tubos de poliéster resistente al ácido y de alta porosidad, que sirven de soporte a una gran cantidad de materia activa preparada con óxido de alta calidad. Sus características permiten obtener duraciones de hasta 10 años a condiciones correctas de servicio y mantenimiento”. (FUNIBER s.f.)

Placas negativas, “son de tipo planos formados con una rejilla de aleación de plomo que sirve de soporte eficaz a la materia activa por su especial diseño”. (FUNIBER s.f.)

B. **Separadores**: “Constituidos por un material poroso (gomas, plástico...) y aislante que separa las placas positivas y negativas evitando el corto circuito de estas y permitiendo el flujo del electrolito y los iones entre ellas. En algunos casos suelen ser envolventes evitando el cortocircuito debido a la posible deposición de materia activa en el fondo del contenedor (recipiente)”. (Abella s.f.)

C. **Terminales**: “Son las conexiones eléctricas externas (positivo y negativo)”. (Abella s.f.)

D. **Recipiente y tapa:** “Hechos comúnmente de plástico o goma dura (SAN) y contiene todos los elementos del acumulador. Los contenedores transparentes facilitan el control visual del nivel del electrolito”. (Abella s.f.)

E. **Electrolito:** “Es un medio conductor que permite el flujo de corriente mediante transferencia iónica, o la transferencia de electrones entre las placas de la batería. En las baterías Pb-a, el electrolito es una disolución en agua de ácido sulfúrico, bien en forma líquida, en gel o cristalizado. En las baterías de níquel cadmio (NiCd) el electrolito es una solución de hidróxido potásico y agua. En muchas baterías es necesaria la reposición de agua, perdida durante el gaseo en la sobrecarga (es muy importante utilizar agua destilada para el rellenado)”. (Abella s.f.)

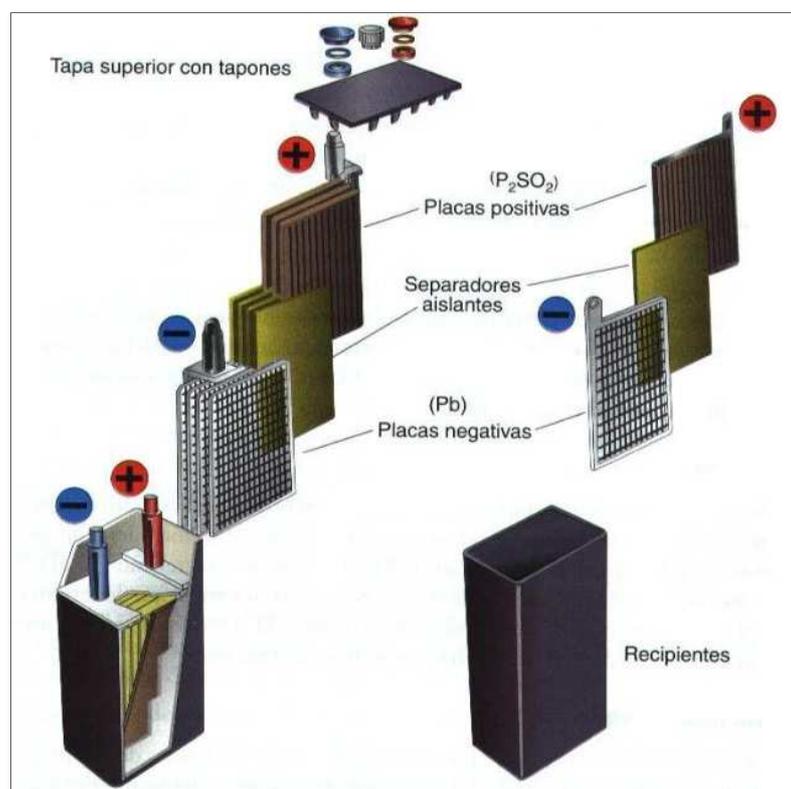


Figura 39: Componentes de un acumulador de Pb-a.
Fuente⁴⁴.

⁴⁴ Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998), 70.

2.2.4.2.3. Tipos de acumuladores

En los sistemas solares fotovoltaicos los acumuladores elegidos son los denominados estacionarios ya que son diseñadas para suministrar energía de forma permanente o esporádica, sin tener que sufrir mucho estrés. Entre los acumuladores más reconocidos tenemos:

A. **Acumuladores de plomo-ácido:** “Este tipo de acumulador se compone de varias placas de plomo inmersas en el electrolito. La placa positiva se rellena con una gran cantidad de materia activa preparada con óxido de plomo de alta calidad y la negativa con plomo esponjoso. La cantidad de plomo determina la capacidad y la profundidad de descarga a la que puede someterse. La vida de un acumulador llega a su fin cuando no hay suficiente plomo para reaccionar con el electrolito o viceversa”. (FUNIBER s.f.)

Acumuladores de plomo-antimonio, “denominadas baterías tubulares estacionarias de ciclo profundo, se utilizan en instalaciones medias o grandes, permitiendo la aleación de plomo-antimonio descargas diarias de entre 35% a 40%, aunque pueden soportar esporádicamente hasta el 80% a costa de disminuir su vida útil. Estos acumuladores limitan la pérdida de material activo y tienen un mayor tiempo de vida que las baterías Pb-calcio cuando operan a temperaturas elevadas; sin embargo, poseen la desventaja que tienen una elevada autodescarga por lo que requieren una frecuente adición de agua”.⁴⁵

⁴⁵ FUNIBER, *Energía solar fotovoltaica*, s.f. y Miguel Alonso Abella, “Sistemas Fotovoltaicos”, s.f.

Acumuladores de plomo-calcio, “son del tipo de acumuladores compactos como la de los automóviles, pudiendo ser utilizados en pequeños sistemas fotovoltaicos, aunque su uso no es recomendable debido a su corta vida. Estos acumuladores poseen baja autodescarga y menor gaseo que los acumuladores de Pb-antimonio, en general no toleran bien la sobrecarga, las descargas profundas y la operación a altas temperaturas”.⁴⁶

B. **Acumuladores híbridos:** estos acumuladores poseen cualidades de los acumuladores mencionados en párrafos precedentes, en este su diseño utiliza placas positivas tubulares de calcio y placas negativas de antimonio.

Acumuladores de electrolito inmovilizado, “poseen la especial característica de tener el electrolito inmovilizado, son muy sensibles a los métodos de carga, voltajes de regulación y operación bajo temperaturas extremas, existen dos tipos diferenciados de acumuladores de este tipo: Acumuladores de gel y acumuladores de AGM (Absorbed Glass Mat)”. (Abella s.f., 15)

C. **Acumuladores de níquel-cadmio:** “Similares a los acumuladores de Pb-ácido, pero en este caso el plomo es reemplazado por hidróxido de níquel para las placas positivas y por óxido de cadmio para las placas negativas, teniendo como electrolito al hidróxido de potasio. Sus principales características son su larga vida, bajo mantenimiento, soportan procesos de congelado y descongelado sin efectos negativos, las altas temperaturas y sobrecargas les afectan menos, sus valores de autodescarga oscilan entre un 3% a 6% al mes, sin embargo sus desventajas más

⁴⁶ Ibíd.

notables son su baja capacidad a regímenes de descarga lenta y su elevado costo al mercado”. (FUNIBER s.f.)

2.2.4.2.4. Asociación de acumuladores

Tal como se vio en el caso de los módulos fotovoltaicos, en ocasiones también es necesario conectar los acumuladores en serie (para aumentar en nivel de tensión del sistema), en paralelo (para aumentar la capacidad del sistema) o en una configuración mixta serie-paralelo. Este proceso de conexión se puede lograr de dos maneras:

La primera mediante acumuladores que ya vienen ensamblados de fábrica con un número determinado de elementos conectados en serie logrando una tensión nominal se puede presentar en 6V, 12V ó 24V.⁴⁷

Y la segunda mediante acumuladores ensamblados con un solo elemento (en el caso de las Pb-a tienen una tensión nominal de 2V y las de Ni-Cd de 1,2V) para lo cual es necesario conectarlos en serie hasta obtener la tensión deseada.

2.2.4.3. Subsistema de Control

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema solar fotovoltaico, por lo general es necesario la incorporación de un subsistema de control, el cual se instalará entre el subsistema generador y el subsistema acumulador, se encuentra conformado por un equipo llamado regulador de carga. “Se encarga de controlar

⁴⁷ Son denominados estanco, sellado o monoblock.

las cargas y descargas de la batería, protegiéndola y evitando averías, también evita que la corriente no vuelva hacia los paneles durante la noche, gracias a un diodo que hace esta función”.⁴⁸ “Dado que los módulos fotovoltaicos tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas”.⁴⁹ “La misión del regulador se centra por tanto, en evitar que debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento causar perjuicios al acumulador, acortando la vida del mismo; en definitiva, el regulador es un dispositivo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador y a la vez limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías; la misión del regulador es de suma importancia ya que la fuente de energía del sistema fotovoltaico es variable y estacional”.⁵⁰

Actualmente existen dos tipos de tecnologías que diferencian a los reguladores de carga:

A. **Reguladores PWM, ...**

Utilizan el voltaje que necesita la batería o el grupo acumulador para su carga o descarga. En cuanto la batería llega a la tensión señalada, comienza a impedir el contacto entre los módulos y la batería para evitar la sobrecarga (fase de absorción). Por ejemplo, si en un momento determinado el módulo fotovoltaico produce 26 voltios, si la tensión del acumulador es 24 voltios para su carga, el

⁴⁸ Miquel Casa y Mónica Barrio, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (Barcelona: Marcombo, 2012), 49.

⁴⁹ Tomás Díaz Carcobado y Guadalupe Carmona Rubio, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, (McGrall-Hill, 2010), 19.

⁵⁰ E. Alcor, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, (Progensa, 2002) ,63.

*regulador suministrará esa cantidad, desechando los 2 voltios de diferencia, lo que supone una disminución del rendimiento energético. La ventaja se encuentra en su bajo coste y su facilidad de transporte debido a su menor peso.*⁵¹

B. Reguladores MPPT, ...

*Estos reguladores poseen un controlador del punto de máxima potencia, o Maximum Power Point Tracking por sus siglas en inglés. Se caracterizan por utilizar toda la intensidad producida por el panel solar independientemente del voltaje, para lo cual hacen uso también de un convertidor cc/cc que convierte la corriente continua de alta tensión a una corriente continua de menor tensión a la hora de la carga del acumulador. Si tomamos el caso anterior, el regulador MPPT utilizará los 24 voltios para el suministro y los restantes 2 voltios para la carga del acumulador mediante la regulación de la intensidad que se utiliza para cada objeto. Esto permite reducir las pérdidas hasta en un 30% comparadas con un regulador PWM.*⁵²

2.2.4.4. Subsistema de Conversión

“Es un aparato electrónico cuya función es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con magnitud y frecuencia deseada por el usuario. Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para ordenadores, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia”.⁵³

⁵¹ “Reguladores ¿PWM o MPPT?”, Saclima Solar Fotovoltaica S.L., acceso 03 de enero de 2019, <http://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/reguladores-pwm-o-mppt/> y Autosolar Energy Solutions SLU, “¿Qué es un regulador de carga?”, *Aspectos Técnicos* (blog), 19 de abril de 2015, <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>.

⁵² *Ibid.*

⁵³ “Inversor de corriente”, Energía solar, acceso 03 de enero de 2019, <https://solar-energia.net/definiciones/inversor.html>.

Existen tres tipos de inversores: inversores de onda cuadrada, inversores de onda senoidal modificada e inversores de onda senoidal pura. Sin embargo, para el presente caso de estudio se optará por el inversor de onda senoidal pura, de acuerdo con la Norma DGE: “Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural” publicada en septiembre del 2015.

En la figura 40 se puede apreciar claramente un ejemplo de las diferencias entre las formas de las ondas de corriente alterna en un sistema a 50 Hz .

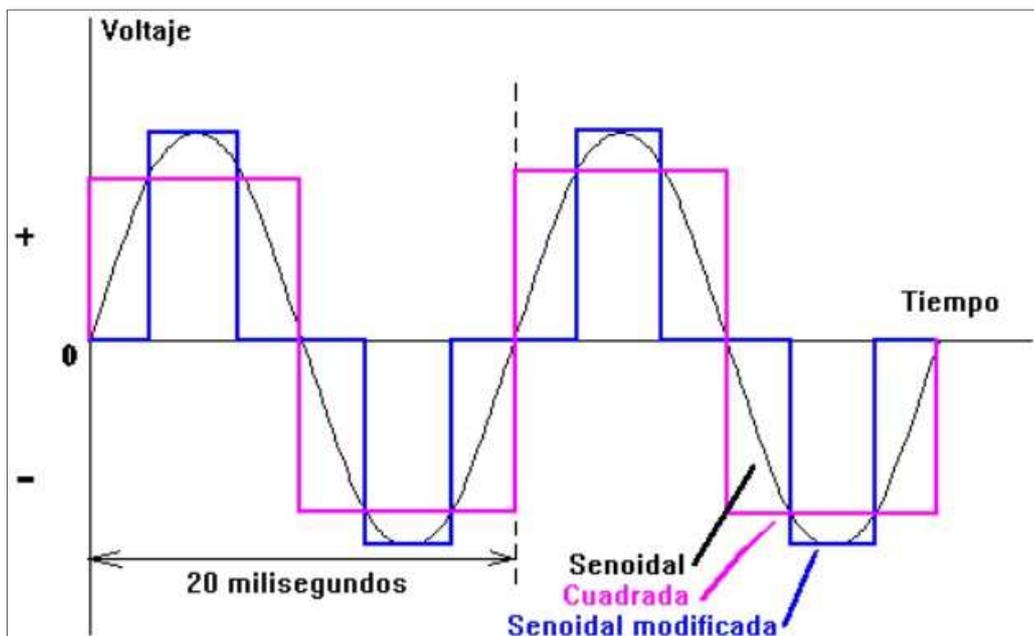


Figura 40: Formas de ondas de corriente alterna (50 Hz).

Fuente⁵⁴.

Inversor de onda senoidal pura, “están controladas por un microprocesador, lo que permite tener ondas senoidales sin límite de carga conectada. Son aptos para todo tipo de aparatos eléctricos. La eficiencia de estos aparatos se sitúa alrededor del 96%, ya que utilizan tecnología Switchmode, conmutado a altas frecuencias (muchos impulsos a lo largo del semiciclo), además de utilizar en las etapas de

⁵⁴ “¿Qué diferencia existe entre los distintos tipos de inversores?”, INEEL, acceso 04 de enero de 2019, https://www2.ineel.mx/proyectorfotovoltaico/preg_20.html.

potencia tecnología IGBTs (Isolated Gate Bipolar Transistor), que proporciona un mejor rendimiento y menos calor de disipación. Poseen gran capacidad para soportar sobrecargas y bajos consumos sin conexión de cargas”. (FUNIBER s.f.)

2.2.4.5. Estructura de soporte de los MFV

La estructura de soporte será la encargada de brindar el sustento a los módulos fotovoltaicos, al mismo tiempo servirá para lograr la inclinación adecuada de estos con la finalidad de optimizar el rendimiento del sistema generador. En la figura 41 se muestra una clasificación de las estructuras de soporte, de acuerdo con el tipo de instalación.

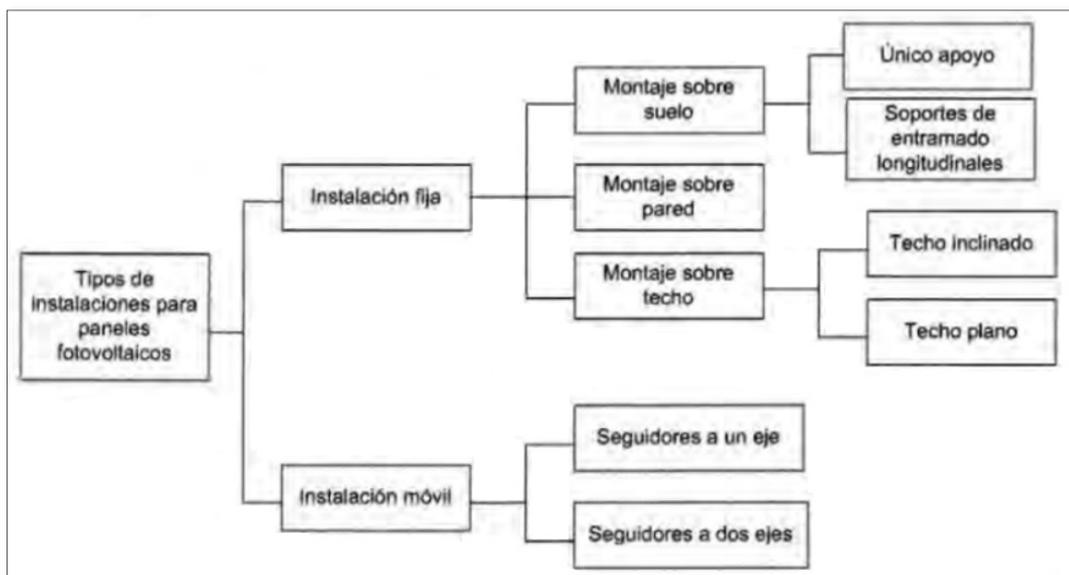


Figura 41: Clasificación de las estructuras de soporte de los MFV.

Fuente⁵⁵.

Se cree conveniente pues, en el presente caso de estudio optar por un sistema de soporte fijo, montado sobre el suelo con soportes de entramado longitudinales.

⁵⁵ Miquel Casa Vilaseca y Mónica Barrio López, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (Barcelona: Marcombo, 2012), 129.

“Para llevar a cabo este sistema, se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El sistema fijo tiene mayor duración y el mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica en comparación. Debido a que no se puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y el efecto de sombras en la elección de la inclinación”. (Valdiviezo Salas 2014)

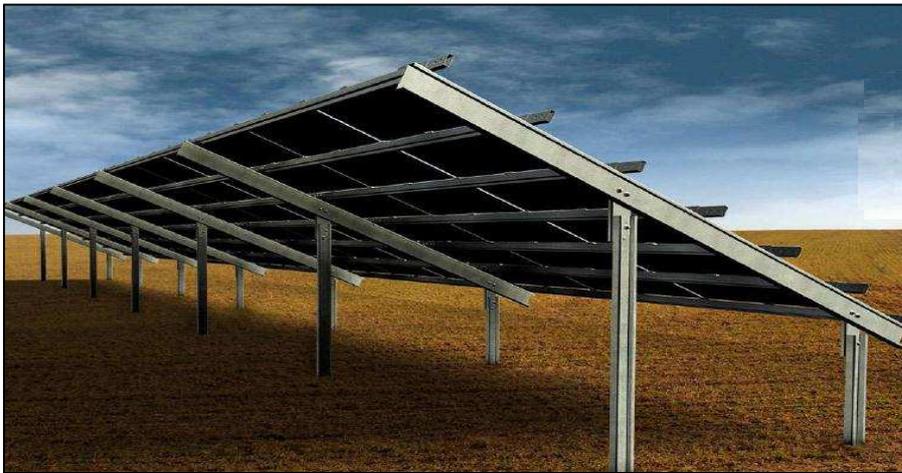


Figura 42: Estructura fija sobre el suelo.
Fuente⁵⁶.

2.2.4.6. Otros dispositivos

2.2.4.6.1. Fusibles

“Se dimensionarán para actuar entre 1,5 y 2 veces la corriente de cortocircuito del módulo en condiciones de CEM. Deben ser específicos para la protección de semiconductores. Si la tensión del generador fotovoltaico es elevada se debe comprobar que la tensión asignada al fusible soporta 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador en condiciones CEM. Todos los parámetros específicos en corriente continua”. (Castejón y Santamaría 1998)

⁵⁶ Paulo Daniel Valdiviezo Salas, “Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP” (tesis de grado, Lima, 2018).

2.2.4.6.2. Interruptores automáticos magnetotérmicos

“Específicos para corriente continua, se dimensionan para actual como máximo a 1,5 veces la corriente de cortocircuito del módulo en condiciones CEM. Se debe comprobar que su tensión de servicio es como mínimo de 1,2 veces a tensión de circuito abierto del generador en condiciones CEM. Deben tener una curva de disparo tipo Z específica para la protección de semiconductores”. (Castejón y Santamaría 1998)

2.2.4.6.3. Cableado

Se partirá a partir de la consideración que la longitud de los cables sean los menores posibles, evitando así, pérdidas. La elección y cálculo de los conductores se realizará siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana (NTP) y del Código Nacional de Electricidad (CNE).

2.2.4.6.4. Contadores de energía

Servirá para medir el consumo de energía eléctrica, facilitando así su propia lectura y otras operaciones a distancia, aportando información que permitirá ahorrar en la factura mensual.

2.2.4.6.5. Temporizadores y programadores

Utilizados para la programación del encendido y apagado del alumbrado público.

2.2.4.6.6. Accesorios

Encontraremos dentro de este grupo a los terminales de compresión de aluminio, caja estanca de paso para conexión de los módulos fotovoltaicos, y los conectores

tipo MC4 los cuales no necesitan ninguna herramienta extra para realizar su ensamblado.

2.2.5. Dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos

Para el cálculo se optó por utilizar el método del mes peor, el cual se basa en considerar el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico en un periodo sin insolación (días de autonomía) y en la que la relación consumo-radiación solar recibida es la mayor (peor mes). Claro está que, si dimensionamos el sistema fotovoltaico para el mes con las peores condiciones de radiación, en el resto del año no se supondrá problemas por generación.

Antes que nada, desarrollamos un cuadro que nos permita identificar de forma clara y concisa las características principales de los SFV, a partir de las cuales se establecerán los criterios de dimensionamiento y selección de los equipos.

Tabla 3: Identificación de los sistemas fotovoltaicos.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN			
TESIS	IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ - REGIÓN AMAZONAS.		
COMUNIDAD	PROVINCIA		
DISTRITO	REGIÓN		
LATITUD	LONGITUD		
TIPO DE CONSUMO	CONTINUO: 7 d/s	TEMPORADA DE CONSUMO	VERANO/INVIERNO
	MEDIO: 5 d/s		MES DE DISEÑO
	BAJO: Fin de sem	TIPO DE INSTALACIÓN	CENTRALIZADO/ INDIVIDUAL

Fuente: Elaboración Propia de El Autor.

2.2.5.1. Determinación de las necesidades a cubrir

Comenzaremos con la determinación de la potencia y demanda de energía necesaria cubrir las necesidades de las comunidades, para tal fin hemos de

considerar todos los consumos que tendrán lugar durante el transcurso del año. Debido al tipo de consumo de las cargas, el cual se realizará mediante corriente alterna en todos los casos, debemos tener en cuenta que estas se encontrarán afectadas por el rendimiento del inversor. También, como en todo sistema, en este caso ocurrirán pérdidas de energía, sea por la acumulación de suciedad en la superficie de los MFV, por caída de tensión en los conductores, pérdidas por efecto Joule y pérdidas propias por el autoconsumo de los equipos componentes del sistema fotovoltaico. A fin de evitar una falta de energía por un dimensionamiento muy justo del sistema, consecuencia de estas pérdidas, insertaremos un factor de seguridad (F_s) en el dimensionamiento, estimada en un 15%. (FUNIBER s.f.)

Como el SFV será autónomo, se calculará para tener un tiempo de vida útil igual al de los MFV, es necesario realizar la proyección de la población, consecuentemente de las viviendas en cada comunidad hacia este mismo periodo de tiempo, con la finalidad de estar en la capacidad de suministrar adecuadamente de energía al total de viviendas al final de este periodo de vida útil. Se considera un consumo igual para cada vivienda.

No dejando de lado los consumos de las cargas especiales, como instituciones educativas, centros de salud, casas comunales, iglesias, etc. El consumo de estas cargas de debe desarrollar de forma unitaria.

Conocidos los consumos unitarios, desarrollaremos tablas para el cálculo de la potencia y máxima demanda de energía.

2.2.5.1.1. Proyección de la población y viviendas

En el dimensionamiento de los SFV de las comunidades propias de la presente investigación, consideramos la vida útil de los paneles fotovoltaicos el cual es de 20 años, por lo que proyectamos la población y viviendas considerando ese periodo de tiempo.

Para realizar esta proyección, debemos conocer primeramente los índices de crecimiento poblacional, para ello aremos uso de los resultados de los últimos cuatro censos nacionales de población y vivienda para la provincia de Bongará.



Figura 43: Población en Bongará según censo de 1993.

Fuente: INEI



Figura 44: Población en Bongará según censo de 2005.

Fuente: INEI

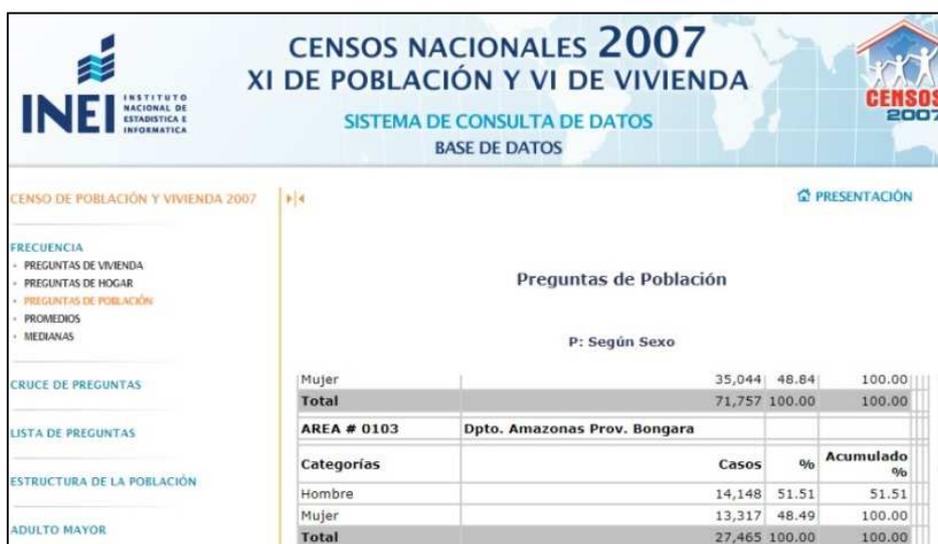


Figura 45: Población en Bongará según censo de 2007.

Fuente: INEI

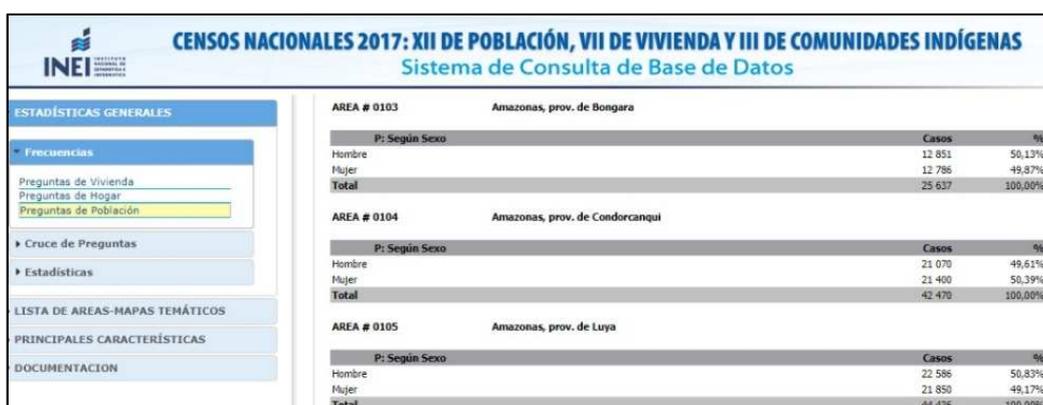


Figura 46: Población en Bongará según censo de 2017.

Fuente: INEI

Tabla 4: Población de la provincia de Bongará.

POBLACIÓN SEGÚN CENSO, PROVINCIA DE BONGARÁ – REGIÓN AMAZONAS				
CENSO	1993	2005	2007	2017
Población	20459	24977	27465	25637

Fuente: Censos Nacionales - INEI.

Con los datos de la tabla 4, procederemos a calcular el valor de la tasa de crecimiento anual que utilizamos en el desarrollo de la presente TESIS.

Tabla 5: Tasa de crecimiento en Bongará.

CRECIMIENTO SEGÚN CENSO, PROVINCIA DE BONGARÁ – REGIÓN AMAZONAS					
CENSO	1993	1993-2005	1993-2007	1993-2017	PROMEDIO
Crecimiento % (i)		1,677	2,126	0,944	1,582

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Calcularemos ahora la población proyectada, utilizando la ecuación 13:

$$PO_n = PO * (1 + i)^n \dots \dots \dots (13)$$

Calculamos luego el número de viviendas proyectadas, utilizando la ecuación 14:

$$NV_n = NV * \left(\frac{PO_n}{PO}\right) \dots \dots \dots (14)$$

2.2.5.1.2. Cálculo de la potencia y máxima demanda

Determinamos primeramente, las cargas unitarias que se conectarán a nuestros SFV, para ello elaboramos un cuadro que nos facilite el cálculo de las potencias y consumos unitarios y totales que tendrá cada tipo de instalación (residenciales, especiales, alumbrado público). Plantilla diseñada en Excel 2019.

Tabla 6: Determinación de los consumos unitarios.

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
SERVICIO PARTICULAR					
Subcarga 01					
Subcarga 02					
Subcarga 03					
SUBTOTAL CONSUMO VIVIENDA					
CONSUMO TOTAL_SERVICIO PARTICULAR					
CARGAS ESPECIALES					
CARGA ESPECIAL 01					
Subcarga 01					
Subcarga 02					
Subcarga 03					
SUBTOTAL CONSUMO_CARGA ESPECIAL 01					
CARGA ESPECIAL 02					
Subcarga 01					
Subcarga 02					
Subcarga 03					
SUBTOTAL CONSUMO_CARGA ESPECIAL 02					
CONSUMO TOTAL_CARGAS ESPECIALES					
ALUMBRADO PÚBLICO					
Punto de iluminación					
CONSUMO TOTAL_ALUMBRADO PÚBLICO					

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Luego realizamos el cálculo de la máxima demanda de nuestra instalación, para lo cual incluimos los consumos totales unitarios de la tabla 7, considerando las pérdidas por rendimiento de los inversores y el factor de seguridad fijado al inicio del título. Plantilla diseñada en Excel 2019.

Tabla 7: Determinación de la potencia y energía máxima instalada.

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO				
ELEMENTO DE CONSUMO	POTENCIA (W/día)	ENERGÍA (W.h/día)		
CARGAS SERVICIO PARTICULAR	W	W.h/día		
CARGAS ESPECIALES	W	W.h/día		
ALUMBRADO PÚBLICO	W	W.h/día		
SUBTOTAL 1	P1	W	E1	W.h/día
EFICIENCIA DEL INVERSOR		%	MARCA: _MODELO:	
SUBTOTAL 2	P2	W	E2	W.h/día
FACTOR DE SEGURIDAD		%		
CONSUMO TOTAL DE LA INSTALACION	Pt	W	Et	W.h/día

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

2.2.5.2. Condiciones de irradiación solar

Es necesario conocer la disponibilidad de energía solar en los lugares del campo de investigación, para ello hace falta consultar tablas de radiación solar, que resultan de la extrapolación de los datos de la energía recibida en cada mes a lo largo de una serie de años. Los datos obtenidos en estas tablas dependen directamente de la latitud, así como de las condiciones meteorológicas y de las particularidades climatológicas del lugar. Estas tablas de radiación deberán encontrarse expresadas en kilowatt hora por metro cuadrado. (FUNIBER s.f.)

Es así que, en el desarrollo de esta investigación consideramos el uso de cuatro fuentes de información, los cuales son:

- a) Software Meteonorm V7.3, un producto de Meteotest AG.

- b) Atlas de Energía Solar del Perú-2003, de la Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas del Perú.⁵⁷
- c) La aplicación web Power Data Access Viewer, de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA).⁵⁸
- d) La aplicación web Global Solar Atlas, del Grupo Banco Mundial (The World Bank).⁵⁹

Los datos obtenidos de las cuatro fuentes, serán posteriormente representadas a través del uso de la tabla 8.

Tabla 8: Datos de irradiación solar diaria/mes.

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA/MES				
MES DEL AÑO/FUENTE	ATLAS SENAMHI	METEONORM	PDAV (NASA)	GSA (THE WORLD BANK)
ENERO				
FEBRERO				
MARZO				
ABRIL				
MAYO				
JUNIO				
JULIO				
AGOSTO				
SETIEMBRE				
OCTUBRE				
NOVIEMBRE				
DICIEMBRE				
PROMEDIO				

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Para la elección de la radiación solar óptima para el cálculo del sistema fotovoltaico (mes de menor radiación), escogemos de entre las fuentes a la que tenga el menor valor de radiación solar promedio anual. Escogido la fuente de datos con la que hemos de trabajar, verificamos cual a sido el mes de menor radiación y su

⁵⁷ <http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/#>.

⁵⁸ <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

⁵⁹ <https://globalsolaratlas.info/>.

correspondiente valor. Resumimos los resultados obtenidos haciendo uso de la tabla 9.

Tabla 9: Condiciones de irradiación solar escogido.

CONDICIONES DE IRRADIACIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO		
PROMEDIO ELEGIDO		kW.h/m2.día
FUENTE ELEGIDA		
MES DE DISEÑO		
IRRADIACIÓN SOLAR ÓPTIMA	GTI	kW.h/m2.día
RADIACIÓN EN CONDICIONES CEM	CEM	kW/m2.día
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	h
ÁNGULO ÓPTIMO DE ELEVACIÓN	OPTA	°
TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP	°C
ELEVACIÓN	ELE	m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

2.2.5.3. Dimensionamiento del sistema de acumulación

Se encargará de almacenar la energía transformada por el generador fotovoltaico, para ello consideramos cuatro factores.

Número de máximo de días de autonomía, en el diseño de los sistemas fotovoltaicos es importante considerar un número de días consecutivos en el cual la instalación será capaz de funcionar correctamente recibiendo apenas radiación solar, este es el llamado número de días de autonomía. Consideramos 3 días de autonomía en la presente investigación.⁶⁰

Profundidad de descarga máxima, se trata de los valores de descarga máxima que pueden sufrir los acumuladores luego de completar el periodo de autonomía. Consideramos un 70% en la presente investigación. (Castejón y Santamaría 1998)

⁶⁰ Norma DGE: Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural, septiembre del 2015.

Pérdidas por rendimiento del sistema acumulador, dado que en la transformación de energías siempre existe algún tipo de pérdidas, es necesario en este caso sobredimensionar la capacidad del sistema de acumulación, con la finalidad de tener una reserva equivalente a la máxima demanda de la instalación. Consideramos una pérdida del 10% la presente investigación. (FUNIBER s.f.)

Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico, el criterio para elegir un nivel de tensión al cual operará el sistema fotovoltaico se basará en la potencia requerida por la instalación. Utilizaremos entonces como referencia el cuadro 10.

Tabla 10: Selección del nivel de tensión de un SFV.

ELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO				
POTENCIA INSTALADA	TENSIÓN CONTINUA		MÁXIMA CORRIENTE	
Inferior a 400	12		33	
De 400 a 5000	24	48	210	105
Mayor de 5000	48	120	105	41

Fuente: FUNIBER, “Energía Solar Fotovoltaica”, s.f.

Determinados los factores al cual operarán los sistemas fotovoltaicos de la presente investigación, procedemos al dimensionamiento de los equipos.

Primeramente, debemos calcular la energía total consumida por el acumulador, considerando las pérdidas por rendimiento (ecuación 18):

$$ET = E_t * \left(1 + \frac{PR_{ac}}{100}\right) = E_t * 1,1 \dots \dots \dots (18)$$

Calculamos luego la capacidad del acumulador (ecuación 19):

$$C_{ac} = \frac{ET * DA}{PD_{m\acute{a}x} * V} \dots \dots \dots (19)$$

El número de acumuladores a conectarse en serie (ecuación 20):

$$AC_s = \frac{V}{V_{bat}} \dots\dots\dots (20)$$

El número de ramas de acumuladores en paralelo (ecuación 21):

$$AC_p = \frac{C_{ac}}{C_{bat}} \dots\dots\dots (21)$$

2.2.5.4. Dimensionamiento del sistema de generación

Primeramente calculamos la potencia del generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la energía eléctrica total, las horas solar pico y un coeficiente de rendimiento energético de los MFV (0,9). (FUNIBER s.f.)

$$P_G = \frac{E_t}{HSP * CR_{MFV}} \dots\dots\dots (22)$$

Habiendo seleccionado la potencia del panel a utilizar, es posible calcular el número de paneles de la siguiente manera (ecuación 23):

$$MFV_t = \frac{P_G}{P_{m\acute{a}x}} \dots\dots\dots (23)$$

Considerando la tensión de trabajo del sistema de corriente directa, se calcula el número de paneles en serie (ecuación 24):

$$MFV_s = \frac{V}{V_{MFV}} \dots\dots\dots (24)$$

El número de ramas en paralelo de paneles o módulo fotovoltaicos (ecuación 25):

$$MFV_p = \frac{MFV_t}{MFV_s} \dots\dots\dots (25)$$

2.2.5.5. Dimensionamiento del sistema de regulación

Para el dimensionamiento del regulador, calcularemos primero la corriente eléctrica máxima que debe soportar este sistema mediante la ecuación 26, considerando un factor de seguridad de 1,25:

$$I_{Rm\acute{a}x} = 1,25 * I_{sc} * MFV_p = 1,25 * I_{G_{sc}} \dots \dots \dots (26)$$

Teniendo la corriente mínima del sistema de regulación, calculamos entonces el número de reguladores a instalarse (ecuación 27):

$$R_p = \frac{I_{Rm\acute{a}x}}{I_{m\acute{a}x}} \dots \dots \dots (27)$$

El número de ramas de paneles solares que se conectarán a cada regulador se obtiene de la ecuación 28:

$$R_{MFV_p} = \frac{MFV_p}{R_p} \dots \dots \dots (28)$$

2.2.5.6. Dimensionamiento del sistema de conversión DC/AC

Consideraremos en este caso que la potencia a la entrada de este sistema será igual al consumo de potencia total.

Entonces, el número de inversores será:

$$INV_t = \frac{P_t}{P_{INV}} \dots \dots \dots (29)$$

2.2.5.7. Determinación de la orientación del generador fotovoltaico

Conocida las coordenadas geográficas del lugar a electrificar, lo siguiente es orientar correctamente el generador fotovoltaico de tal manera que reciba la mayor cantidad de energía solar. Para ello es necesario conocer dos conceptos.

Ángulo de acimut ($\hat{\alpha}$): es el ángulo que forma

$$\hat{\alpha} = 0^\circ, \quad \textit{perpendicular norte}$$

Ángulo de inclinación (β): es el ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal. Debido a que la posición del sol varía a lo largo del día, este ángulo también variará a fin de captar la máxima energía posible.

Como se ha elegido un sistema de soporte fijo, el ángulo de inclinación óptima también a de ser un valor constante, el cual depende de la latitud del lugar y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 * |\varphi|) \dots \dots \dots (30)$$

2.2.5.8. Cálculo de la distancia mínima entre filas de los MFV

Cuando un generador fotovoltaico posee más de una fila de módulos, durante su instalación es preciso dejar cierta distancia entre estas, a fin de evitar el sombreado de las filas posteriores por las delanteras y garantizar un mínimo de 4 horas de Sol en los días de menor elevación solar.

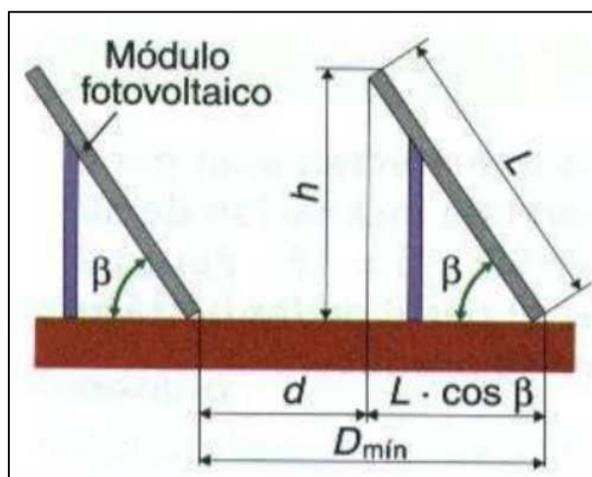


Figura 47: Distancia mínima entre filas de MFV.
Fuente⁶¹.

⁶¹ Agustín Castejón y Germán Santamaría, *Instalaciones solares fotovoltaicas* (España: Editex, 1998).

La distancia mínima entre la parte inferior de una fila y la parte superior de la siguiente será determinada mediante la ecuación:

$$d = \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \phi)} \dots \dots \dots (31)$$

La altura sobre la vertical de una fila se calcula por:

$$h = L * \text{sen}\beta \dots \dots \dots (32)$$

La distancia mínima entre la parte inferior de dos filas de módulos se calcula por:

$$D_{\text{mín}} = d + L * \text{sen}\beta \dots \dots \dots (33)$$

2.2.5.9. Dimensionamiento de conductores

“En general, la sección mínima normalizada del conductor necesario para una línea eléctrica de baja tensión, en un sistema alimentado por un generador fotovoltaico, viene determinada por las limitaciones de calentamiento y caída de tensión que se pueden dar en el conductor y su cálculo se hace para que cumpla estas dos condiciones”. (Castejón y Santamaría 1998)

- 1º Condición: máxima caída de tensión.
- 2º Condición: calentamiento del conductor a la intensidad máxima admisible.

“Para el desarrollo del cálculo de la sección del conductor se necesitan datos de potencia o intensidades, tensiones y longitudes de los diferentes tramos de la instalación”. (Castejón y Santamaría 1998)

Los tramos de la línea en una instalación fotovoltaica vienen a ser:

- 1º Tramo (CC): Conexión de los módulos conectados en serie a la caja de conexiones del generador fotovoltaico.

2° Tramo (CC): Conexión de la caja de conexiones del generador fotovoltaico al regulador de carga.

3° Tramo (CC): Conexión del regulador de carga con el banco de acumuladores.

4° Tramo (CC): Conexión del banco de acumuladores al inversor de corriente.

5° Tramo (CA): Conexión del inversor de corriente con la caja general de mando y protección de la instalación de utilización.

Con respecto a los niveles de tensión, en los tramos de corriente continua típicamente los valores están dados por 12 V, 24 V o 48 V, mientras que en los tramos de corriente alterna se utiliza 220 V o 230 V en caso de redes monofásicas y 380 V o 400 V en redes trifásicas. (Castejón y Santamaría 1998)

Para consideraciones de la potencia e intensidades, Castejón y Santamaría en su libro Instalaciones Solares Fotovoltaicas nos indica que “los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 % de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red, no superará al 1,5 % para la intensidad nominal, debido a que el tramo de línea 3 siempre es más pequeño se descarta del cálculo”. (1998)

1° Tramo (CC): por la intensidad de cortocircuito de un MFV en condiciones CEM.

$$I_{SC_{m\acute{a}x}} = 1,25 * I_{SC} \dots \dots \dots (34)$$

2° y 3° Tramo (CC): por la intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico en condiciones CEM.

$$I_{GSC_{m\acute{a}x}} = 1,25 * I_{sc} * MFV_p \dots \dots \dots (35)$$

4° Tramo (CC): viene dado por la corriente a la entrada del inversor dada en relación a su potencia nominal, la tensión nominal del sistema de acumulación y su eficiencia.

$$I_{INV_{m\acute{a}x}} = 1,25 * \frac{P_{INV}}{V * \eta_{INV}} \dots \dots \dots (36)$$

5° Tramo (CA): dado por la corriente a la salida del inversor dada en relación a su potencia nominal y a la tensión nominal de uso en corriente alterna.

$$I_{I_{m\acute{a}x}} = 1,25 * \frac{P_{INV}}{V_{CA}} \dots \dots \dots (37)$$

Entonces, el cálculo de la sección del conductor por caída de tensión viene dado por lo indicado en la figura 48:

	En función de P	En función de I y cos φ
Monofásica y c.c.	[12] $S = \frac{200 \cdot l \cdot P}{\Delta U_{\%} \cdot U^2 \cdot \gamma_{\theta}}$	[14] $S = \frac{200 \cdot l \cdot I \cdot \cos \phi}{\Delta U_{\%} \cdot U \cdot \gamma_{\theta}}$
Trifásica	[13] $S = \frac{100 \cdot l \cdot P}{\Delta U_{\%} \cdot U^2 \cdot \gamma_{\theta}}$	[15] $S = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot l \cdot I \cdot \cos \phi}{\Delta U_{\%} \cdot U \cdot \gamma_{\theta}}$

Figura 48: Cálculo de la sección del conductor por caída de tensión.

Fuente: Castejón y Santamaria, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, 1998.

Para el cálculo de la sección del conductor por calentamiento se deberá tener en consideración lo indicado en la norma internacional IEC 60364-5-52:2009 Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-52: Selección y montaje de equipos eléctricos. Sistemas de cableado.

2.2.5.10. Fusibles

Es necesario proteger a la instalación fotovoltaica contra sobrecargas o cortocircuitos, para ello es necesario el uso de fusibles. Entonces, para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_{CS} \leq I_n \leq 0,9 * I_{adm} \dots \dots \dots (38)$$

2.2.5.11. Redes de distribución secundaria

Para el diseño, montaje y suministro de materiales de las redes de distribución secundaria se deberán tomar en cuenta en cuenta:

Código Nacional de Electricidad (Suministro 2010).

Norma DGE: Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural (diciembre 2003).

Norma DGE: Especificaciones técnicas de montaje de redes secundarias con conductor autoportante para electrificación rural (diciembre 2003).

Norma DGE: Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de redes secundarias para electrificación rural (diciembre 2003).

Norma DGE: Especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes secundarias para electrificación rural (diciembre 2003).

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Radiación solar, energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas. (Portabella Cilveti 2010)

Irradiancia, densidad de potencia incidente en una superficie o la energía incidente en una superficie por unidad de superficie, se mide en kW/m^2 . (Portabella Cilveti 2010)

Irradiación, energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto periodo de tiempo, se mide en kWh/m^2 . (Portabella Cilveti 2010)

Azimut solar, es el ángulo horizontal formado por la posición del Sol y la dirección del verdadero sur. (Portabella Cilveti 2010)

Ángulo de inclinación óptimo, es el ángulo al que se encuentra inclinado el arreglo solar y en dirección al sol (sur, en el hemisferio norte, y norte, en el hemisferio sur) en el que la energía captada es la máxima posible.

Arreglo solar, es el conjunto de módulos fotovoltaicos conectados en serie o paralelos, los cuales conforman el generador fotovoltaico.

Generador fotovoltaico, asociación de ramas en paralelo o en serie de arreglos solares.

Acumuladores, sirven para almacenar energía y dar una tensión estable, aunque los paneles no estén captando energía. (Casa Vilaseca y Barrio López 2012)

Reguladores, controla las sobrecargas y las descargas en las baterías. (Casa Vilaseca y Barrio López 2012)

Inversores, aquel equipo que transforma la energía eléctrica continua en alterna. (Casa Vilaseca y Barrio López 2012)

Sistema fotovoltaico, instalación que capta la energía del Sol y la transforma directamente en energía eléctrica.

Efecto fotovoltaico, es la capacidad de algunos elementos de absorber fotones (partículas de luz) y liberar a continuación corriente continua de electrones. (Casa Vilaseca y Barrio López 2012)

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Según el objetivo de la investigación

La investigación es aplicada, “ya que el problema está establecido y es conocido por el investigador, por lo que se utiliza la investigación para dar respuesta a preguntas específicas. En este tipo de investigación el énfasis del estudio está en la resolución práctica de problemas. Se centra específicamente en cómo se pueden llevar a la práctica las teorías generales. Su motivación va hacia la resolución de los problemas que se plantean en un momento dado. Pero la característica más destacada de la investigación aplicada es su interés en la aplicación y en las consecuencias prácticas de los conocimientos que se han obtenido. Tiene como objetivo predecir un comportamiento específico en una situación definida”.⁶²

3.1.2. Según el conocimiento del objeto de estudio

La investigación es descriptiva, “tiene como objetivo llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. En este caso los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que

⁶² Daniela Rodríguez, “Investigación aplicada: características, definición, ejemplos”, Lifeder, acceso el 08 de enero de 2018, <https://www.lifeder.com/investigacion-aplicada/>.

contribuyan al conocimiento”.⁶³ Entonces es descriptiva porque pretende describir las características de las variables en el estudio de la energía solar y como se presentan en la realidad.

3.1.3. Según el grado de manipulación de variables

El diseño de la investigación es no experimental, “ya que la observación se realizó tal y como los fenómenos se generan en su ambiente natural, para luego analizarlos. Este tipo de estudio se lleva a cabo sin la manipulación deliberada de las variables para generar un efecto sobre otras variables. Por tanto, el investigador no genera situaciones, sino que observa las ya existentes. Este es el caso de que las variables independientes ocurren, pero el investigador no tiene control sobre estas, no puede manipularlas, ni puede influenciarlas debido a que ya sucedieron, de igual manera que sus consecuencias”.⁶⁴

3.2. Población y muestra

Población

En el desarrollo de la presente TESIS el referente de población son las viviendas y cargas especiales de las comunidades aisladas de La Jalca, El Verde, San José y Perla del Imaza, ubicadas en la provincia de Bongará – Región Amazonas.

⁶³ “La investigación descriptiva”, NOEMAGICO, 12 de septiembre de 2006, <https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigaci-n-descriptiva.php>.

⁶⁴ Francia Robles, “Los 15 tipos de investigación científica y sus características”, Liferder, acceso el 08 de enero de 2018, https://www.liferder.com/tipos-investigacion-cientifica/#8211Investigacion_no_experimental.

Muestra

Como muestra se considera al 100% de la población permanente, las viviendas y cargas especiales de las comunidades aisladas de La Jalca, El Verde, San José y Perla del Imaza, ubicadas en la provincia de Bongará – Región Amazonas.

3.3. Hipótesis

Si utilizamos la energía solar, entonces se logrará implementar sistemas fotovoltaicos en las comunidades aisladas de La Jalca, El Verde, San José y Perla del Imaza, ubicadas en la provincia de Bongará – Región Amazonas.

3.4. Operacionalización de variables

X: Variable independiente: Energía solar.

Y: Variable dependiente: Sistema fotovoltaico.

Tabla 11: Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Variable independiente: Energía solar.	Es la fuente de energía renovable más abundante en nuestro planeta, es origen de toda vida conocida y resulta fundamental para su desarrollo, es origen también de las demás formas de energía conocidas.	Determinar la irradiación solar promedio.	Irradiación solar (kWh/m ² /día).
Variable dependiente: Energía eléctrica.	La energía eléctrica es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones) que se produce en el interior de materiales conductores (por ejemplo, cables metálicos como el cobre) ⁶⁵ .	Determinar la energía promedio diaria. Máxima demanda. Tensión de servicio.	Energía promedio diaria (Wh). Máxima demanda (W). Tensión (V)

Fuente: Elaboración propia de El Autor

⁶⁵ “Energía Eléctrica”, Twenergy, acceso 08 de enero de 2019, <https://twenergy.com/energia/energia-electrica>

3.5. Métodos y técnicas de investigación

3.5.1. Método de investigación

El método utilizado en la presente investigación es deductivo porque a partir de las teorías, leyes y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas, las ponemos en práctica al dimensionar y seleccionar los equipos.

3.5.2. Técnicas de investigación

En la presente investigación se utilizó la observación, la entrevista y el análisis documental.

3.5.2.1. La observación

“Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. Es un elemento fundamental de todo proceso investigativo, en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Gran parte del acervo de conocimientos que constituye la ciencia ha sido lograda mediante la observación”.⁶⁶

Entonces con el uso de esta técnica, es posible conocer el estado en que se encuentran las comunidades consideradas en el presente trabajo de investigación, ya sea en diferentes aspectos tales como social, económico y ambiental.

⁶⁶ Wilson Puente, “Técnicas de investigación”, RRPPnet, acceso 09 de enero de 2019, <http://www.rrppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>.

3.5.2.2. La entrevista

Se podrá definir que la entrevista de investigación consiste en la obtención de información oral por parte de una persona (entrevistador) y lograda por el entrevistador directamente, en una situación frente a frente, en la cual la información no solo es posible que se transmita en un solo sentido, sino de forma bilateral, por tanto una entrevista es una conversación entre el investigador y una persona (contemplada dentro del estudio) que responde a preguntas orientadas a obtener información exigida por los objetivos específicos de la presente investigación.⁶⁷

Se entrevistó a los pobladores de las comunidades, para conocer sus necesidades y los equipos que se utilizarán en el caso de tener energía eléctrica.



Figura 49: Entrevista con pobladora de La Jalca.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

⁶⁷ Manuel Galán Amador, "La entrevista en investigación", *Metodología de la investigación* (blogspot), 29 de mayo de 2009, <http://manuelgalan.blogspot.com/2009/05/la-entrevista-en-investigacion.html>.



Figura 50: Recolección de datos en I.E. N° 18443-San José.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.



Figura 51: Entrevista con poblador de la Perla del Imaza.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.



Figura 52: Entrevista con pobladora de El Verde.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

3.5.2.3. Análisis documental

“Es un conjunto de operaciones encaminadas a representar un documento y su contenido bajo una forma diferente de su forma original, con la finalidad de posibilitar su recuperación posterior e identificarlo. Es una operación intelectual que da lugar a un subproducto o documento secundario que actúa como intermediario o instrumento de búsqueda obligado entre el documento original y el usuario que solicita información. El calificativo de intelectual se debe a que el documentalista

debe realizar un proceso de interpretación y análisis de la información de los documentos y luego sintetizarlo”.⁶⁸

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo con las técnicas utilizadas en la presente investigación, se presenta el cuadro 04 en la que se las relaciona con los instrumentos utilizados respectivamente.

Tabla 12: Técnicas e instrumentación utilizados.

TÉCNICA DE ESTUDIO	INSTRUMENTO
ENTREVISTA	La entrevista realizada fue abierta, para lo cual se utilizó un cuaderno de apuntes y lapicero.
OBSERVACIÓN	Cuaderno de apuntes, lapicero, cámara fotográfica.
ANÁLISIS DOCUMENTAL	Internet, software, libros, tesis, páginas web.

Fuente: Elaboración Propia de El Autor.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos

De las visitas realizadas a las comunidades de La Jalca, Perla del Imaza, San José y El Verde ubicados en la provincia de Bongará – Región Amazonas, se ha recolectado datos a través de la entrevista para conocer los requerimientos mínimos de energía eléctrica y elaborar tablas para obtener la energía eléctrica total y máxima demanda de cada comunidad. Consideraremos una energía promedio

⁶⁸ Lourdes Castillo Blasco, “Tema 5.- Análisis documental”, Universidad de Valencia, 20 de enero de 2005, <https://www.uv.es/macass/T5.pdf>.

para todo habitante de cada comunidad, es decir, utilizaremos la estadística descriptiva.

Con respecto a la radiación solar consideraremos cuatro fuentes, de las cuales consideramos el menor valor, esto con la finalidad de asegurar de que aun en las menores condiciones de radiación solar tendremos el suficiente suministro de energía eléctrica.

Para la selección y cálculos de equipos, se utilizarán hojas de cálculo utilizando Excel 2019, la elaboración y presentación de los planos en AutoCAD 2019.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Debido a la problemática que presentan las comunidades aisladas de La Jalca, Perla del Imaza, San José y El Verde, ubicados en la provincia de Bongará – Región Amazonas. Se propone lo siguiente:

Para la comunidad La Jalca, se propone el uso de sistemas fotovoltaicos individuales con un nivel de tensión 220 V y corriente alterna, debido a que la distancia entre las viviendas es de entre 100 m a 150 m, tratándose de 08 viviendas.

Para las comunidades de Perla del Imaza, San José y El Verde, se propone el uso de sistemas fotovoltaicos centralizados con un nivel tensión de distribución alterna de 220 V sistema monofásico, tratándose de 29 viviendas y 6 cargas especiales, 18 viviendas y 5 cargas especiales, 16 viviendas y 4 cargas especiales respectivamente para cada comunidad.

Para la elección de los equipos, se ha visitado la página web de la empresa Autosolar Energía del Perú S.A.C⁶⁹, en la cual también se encuentran los precios de los productos y bajo los cuales se ha desarrollado una cotización referencial. Se tubo las siguientes consideraciones:

4.1. Módulo fotovoltaico

Se ha de considerar paneles fotovoltaicos de reconocida marca y de potencia comercializable, con capacidad del generador fotovoltaico lo suficiente como para lograr suministrar de energía eléctrica a cada comunidad.

⁶⁹ <https://autosolar.pe/>.

Para la comunidad La Jalca, paneles solares policristalinos de la marca ERA Solar, modelo 150W-12V, compuestos por 36 células (4x9).⁷⁰ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 13: Propuesta de MFV para la comunidad La Jalca.

MÓDULO FOTOVOLTAICO		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		ERA SOLAR
Modelo		150W 12V
Potencia pico nominal	Wp	150
Tensión nominal	V	12
Tensión máxima del sistema	Vdc	1000
Tensión de circuito abierto	V	22.7
Tensión en el punto de potencia máxima	V	18.3
Corriente de cortocircuito	A	8.69
Corriente en el punto de potencia máxima	A	8.20
Tolerancia de potencia	%	3
Eficiencia del módulo fotovoltaico	%	15
Tipo de material de la célula fotovoltaica		POLICRISTALINO
Número de células fotovoltaicas	unid	36

Fuente: Elaborado a partir de los datos del MFV ERA SOLAR.

Para la comunidad El Verde y San José, paneles solares policristalinos de la marca ERA Solar, modelo ESPMC, compuestos por 72 células (12x6).⁷¹ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 14: Propuesta de MFV para la comunidad de El Verde y San José.

MÓDULO FOTOVOLTAICO			
CARACTERÍSTICA	UND	EL VERDE	SAN JOSÉ
		VALOR	VALOR
Marca		ERA SOLAR	ERA SOLAR
Modelo		ESPMC	ESPMC
Potencia pico nominal	Wp	300	325
Tensión nominal	V	24	24
Tensión máxima del sistema	Vdc	1000	1000
Tensión de circuito abierto	V	44.8	45.6

⁷⁰ <https://autosolar.pe/paneles-solares-12v/panel-solar-150w-12v-policristalino-era-solar>.

⁷¹ <https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-era-solar-320w-24v-policristalino>.

MÓDULO FOTOVOLTAICO			
CARACTERÍSTICA	UND	EL VERDE VALOR	SAN JOSÉ VALOR
Tensión en el punto de potencia máxima	V	37	37.8
Corriente de cortocircuito	A	8.7	9.2
Corriente en el punto de potencia máxima	A	8..1	8.6
Eficiencia del módulo fotovoltaico	%	15.5	16.8
Tipo de material de la célula fotovoltaica		POLICRISTALINO	POLICRISTALINO
Número de células fotovoltaicas	unid	72	72

Fuente: Elaborado a partir de los datos del MFV ERA SOLAR.

Para la comunidad Perla del Imaza, paneles solares policristalinos de la marca BAUBER Energy, modelo 330 W, compuestos por 72 células (12x6).⁷² De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 15: Propuesta de MFV para la comunidad Perla del Imaza.

MÓDULO FOTOVOLTAICO		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		BAUBER Energy
Modelo		330W 72 CÉLULAS
Potencia pico nominal	Wp	330
Tensión nominal	V	24
Tensión máxima del sistema	Vdc	1000
Tensión de circuito abierto	V	45,75
Tensión en el punto de potencia máxima	V	37,95
Corriente de cortocircuito	A	9,3
Corriente en el punto de potencia máxima	A	8,7
Coeficiente temperatura - Pppm	%/°C	-0,38001
Eficiencia del módulo fotovoltaico	%	17
Tipo de material de la célula fotovoltaica		POLICRISTALINO
Número de células fotovoltaicas	unid	72

Fuente: Elaborado a partir de los datos del MFV BAUBER Energy.

⁷² <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-330w-24v-policristalino-bauer>.

4.2. Controlador de carga

De marca reconocida y con la suficiente capacidad de corriente eléctrica, de manera que pueda soportar la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico y la potencia suficiente para que no se produzcan sobrecargas.

Para la comunidad La Jalca, controlador de carga de la marca MUST Solar, tipo PWM, modelo PC1500B-10.⁷³ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 16: Propuesta de controlador de carga para la comunidad La Jalca.

CONTROLADOR DE CARGA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		MUST SOLAR
Modelo		PC1500B-10
Intensidad nominal	A	10
Tensión a la salida del sistema	V	12/24 Auto
Tensión a la entrada del sistema	V	≤50
Desconexión por alto voltaje	V	16
Autoconsumo	mA	≤13
Modo de carga		PWM-4 Etapas
Voltaje carga flotación	V	13.8

Fuente: Elaborado a partir de los datos del regulador MUST Solar.

Para la comunidad de **El Verde, San José y Perla del Imaza**, se han considerado controladores MPPT incluidos en los inversores de corriente y tensión.

4.3. Banco de baterías

Se considerará baterías de ciclo profundo, de marca reconocida, la capacidad se seleccionará en función de la energía de la carga y los días de autonomía.

⁷³ <https://autosolar.pe/controladores-de-carga-pwm/controlador-pwm-lcd-10a-1224v-must-solar>.

Para la comunidad La Jalca, baterías de ciclo profundo de plomo-ácido de la marca U-power, modelo UP-SPO165, con una tensión nominal de 12 V.⁷⁴ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 17: Propuesta de batería para la comunidad La Jalca.

BATERÍA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		U-power
Modelo		UP-SPO165
Tensión nominal	V	12
Tipo de electrolito		Ácido
Tipo de batería		Plomo-ácido abierto
Capacidad nominal C100	A.h	165
Capacidad nominal C20	A.h	140
Ciclos a profundidad de descarga 75%		+400

Fuente: Elaborado a partir de los datos de la batería U-power.

Para la comunidad El Verde, baterías de ciclo profundo de plomo-ácido de la marca Ultracell, modelo UZS600-6, con una tensión nominal de 6 V.⁷⁵ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 18: Propuesta de batería para la comunidad El Verde.

BATERÍA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		Ultracell
Modelo		UZS600-6
Tensión nominal	V	6
Tipo de electrolito		Ácido
Tipo de batería		Plomo-ácido abierto
Capacidad nominal C120	A.h	600

⁷⁴ <https://autosolar.pe/baterias-plomo-abierto-12v/bateria-165ah-12v-upower-spo165>.

⁷⁵ <https://autosolar.pe/acumuladores-estacionarios/bateria-estacionaria-600ah-48v-ultracell-uzs600>

BATERÍA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Capacidad nominal C100	A.h	550
Capacidad nominal C10	A.h	360
Capacidad nominal C5	A.h	324
Capacidad afectada a 25 °C	%	100

Fuente: Elaborado a partir de los datos de la batería Ultracell.

Para la comunidad San José, baterías de ciclo profundo de electrolito inmovilizado de gel de la marca Ultracell, modelo UCG 690-2, con una tensión nominal de 2 V.⁷⁶ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 19: Propuesta de batería para la comunidad San José.

BATERÍA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		Ultracell
Modelo		UCG 690-2
Tensión nominal	V	2
Tipo de electrolito		GEL
Tipo de batería		GEL
Capacidad nominal C100	A.h	690
Capacidad nominal C20	A.h	640
Capacidad nominal C10	A.h	600
Capacidad nominal C5	A.h	516
Capacidad afectada a 25 °C	%	100

Fuente: Elaborado a partir de los datos de la batería Ultracell.

Para la comunidad Perla del Imaza, baterías de ciclo profundo de electrolito inmovilizado de gel de la marca Classic, fabricante GNB Industrial Power, modelo

⁷⁶ <https://autosolar.pe/acumuladores-solares-opzv-2v/bateria-gel-2v-690ah-ultracell-ucg-690-2>.

EnerSol T1000, con una tensión nominal de 2 V.⁷⁷ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 20: Propuesta de batería para la comunidad Perla del Imaza.

BATERÍA			
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR	
Marca		Classic	
Modelo		EnerSol T1000	
Tensión nominal	V	2	
Tipo de electrolito		GEL	
Tipo de batería		GEL	
Capacidad nominal C120	A.h	1025	
Capacidad nominal C100	A.h	993	
Capacidad nominal C48	A.h	1008	
Capacidad nominal C12	A.h	848	
Capacidad afectada a 25 °C	%	100	

Fuente: Elaborado a partir de los datos de la batería GNB.

4.4. El inversor

Con la finalidad de transformar la corriente eléctrica de CC a CA y poder suministrar la energía en 220 V y a una frecuencia de 60 Hz, sistema utilizado en Perú.

Para la comunidad La Jalca, inversor de la marca Victron Energy, modelo Phoenix, con una tensión nominal de 12 V y 250 VA.⁷⁸ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 21: Propuesta de inversor para a comunidad La Jalca.

INVERSOR CC/CA			
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR	
Marca		Victron Energy	
Modelo		Phoenix 12/250	

⁷⁷ <https://autosolar.pe/acumuladores-solares-topzs-12v/bateria-estacionaria-12v-1025ah-enersol-t-6-vasos..>

⁷⁸ <https://autosolar.pe/inversores-24v/inversor-victron-phoenix-24v-250v.>

INVERSOR CC/CA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Potencia nominal a 25 °C	VA	250
Potencia nominal a 25 °C	W	200
Pico de potencia	W	400
Tensión / frecuencia de salida	V/Hz	230/60
Rango de tensión de entrada	V	9,2 - 17
Eficacia	%	87

Fuente: Elaborado a partir de los datos del inversor Phoenix 12/250.

Para la comunidad El Verde, inversor de la marca Must Solar, PV18-5048 HM, de 4000 W y 48 V, que incluye un regulador tipo MPPT.⁷⁹ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 22: Propuesta de inversor para la comunidad El Verde.

INVERSOR CC/CA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		Must Solar
Modelo		PV18-5048 HM
Voltaje del sistema de baterías	V	48
Potencia del inversor	VA	5000
Potencia del inversor	W	4000
Potencia pico	VA	10000
Tipo de onda		Senoidal pura
Tensión de salida AC	V	220-240
Eficiencia del inversor	%	93
Cargador solar		
Voltaje máximo de circuito abierto FV	V	145
Rango de voltaje MPPT	V	64-130
Consumo	W	2
Potencia de entrada FV	W	400
Corriente de carga máxima	A	80

⁷⁹ <https://autosolar.pe/inversores-48v/inversor-cargador-5kva-4000w-48v-mppt-80a-must-solar>.

INVERSOR CC/CA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Eficiencia máxima	%	98
Corriente de carga AC	A	60
Corriente combinada	A	140

Fuente: Elaborado a partir de los datos del inversor PV18-5048 HM.

Para la comunidad San José y Perla del Imaza, inversor de la marca Must Solar, de 5000 W y 48 V, 80 A y que incluye un regulador tipo MPPT.⁸⁰ De las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 23: Propuesta de inversor para las comunidades San José y Perla del Imaza.

INVERSOR CC/CA		
CARACTERÍSTICA	UND	VALOR
Marca		Must Solar
Modelo		5000W 48V MPPT
Inversor		
Voltaje de salida	V	230
Potencia pico (3 s)	VA	10000
Eficiencia	%	93
Cargador de batería		
Voltaje de batería	V	48
Voltaje en flotación	V	54
Protección sobrevoltaje	V	60
Corriente de carga máxima	A	60
Regulador de carga		
Potencia máxima del panel	W	4000
Rango de voltaje MPPT	V	64-130
Voltaje máximo de circuito abierto	V	145
Amperios máximos	A	80
Consumo Stand By	W	30

Fuente: Elaborado a partir de los datos del inversor Must solar 5000W MPPT.

⁸⁰ <https://autosolar.pe/inversores-48v/inversor-cargador-5000w-48v-mppt-80a-must-solar>

Adicionalmente en el caso de la comunidad de Perla del Imaza, se instalará un kit de conexión el paralelo para inversores, ya que la potencia de la instalación es superior a la potencia del inversor y a las corrientes admisibles por este.⁸¹

4.5. Redes de distribución secundaria

Con la finalidad de hacer llegar la energía eléctrica obtenida desde el generador fotovoltaico hacia cada una de las viviendas y cargas especiales. Solo considerado para las comunidades de El Verde, San José y Perla del Imaza. Se utilizará postes de 8 metros y conductor autoportante monofásico 1x16+25NA.

El flujograma para el desarrollo de la propuesta se muestra en la siguiente figura:

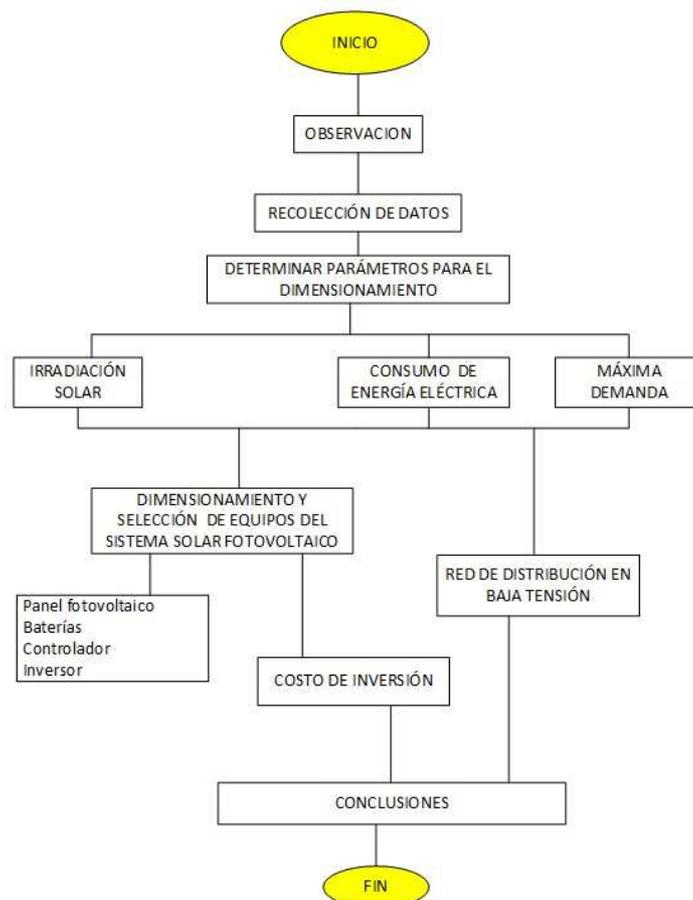


Figura 53: Flujograma para el desarrollo de la propuesta.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

⁸¹ <https://autosolar.es/accesorios-inversores/kit-conexion-paralelo-inversores-must-solar>.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Determinación de la máxima demanda

5.1.1. Comunidad La Jalca

Datos de identificación:

Tabla 24: Datos de identificación comunidad La Jalca.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN				
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ - REGIÓN AMAZONAS.				
COMUNIDAD	LA JALCA	PROVINCIA	BONGARÁ	
DISTRITO	CUISPES	REGIÓN	AMAZONAS	
LATITUD	-5.945064	LONGITUD	-77.91334	
TIPO DE CONSUMO	CONTINUO: 7 d/s	X	TEMPORADA DE VERANO/INVIERNO	TODO EL AÑO
	MEDIO: 5 d/s		MES DE DISEÑO	FEBRERO
	BAJO: Fin de sem		TIPO DE INSTALACIÓN	INDIVIDUAL AUTÓNOMO

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Proyección de la población: Debido a que el tipo de instalación es individual, la proyección de años es cero.

Tabla 25: Proyección de población y vivienda comunidad La Jalca.

POBLACIÓN Y VIVIENDA					
CRECIMIENTO	PROYECCIÓN	POBLACIÓN		VIVIENDA	
		ACTUAL	PROYECTADA	ACTUAL	PROYECTADA
i	n	PO	$PO \cdot (1 + i)^n$	NU	$NU \cdot (PO_n / PO)$
1,582%	0	17	17	8	8

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de cargas unitarias:

Tabla 26: Consumos unitarios de la comunidad La Jalca.

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
SERVICIO PARTICULAR		8			
Lámparas	8	3	3.0	24	72

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
Radio	20	1	3.0	20	60
Carga de celular	5	3	1.0	15	15
Televisor	60	1	2.0	60	120
Reserva	20	1	2.0	20	40
SUBTOTAL CONSUMO VIVIENDA				139	307
TOTAL CONSUMO VIVIENDA				139,000	307,000

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de la potencia y energía total diaria:

Tabla 27: Potencia y energía total por vivienda comunidad La Jalca.

POTENCIA Y ENERGÍA DIARIOS TOTAL						
ELEMENTO DE CONSUMO	POTENCIA (W/día)			ENERGÍA (W.h/día)		
CARGAS SERVICIO PARTICULAR	139,000	W		307,000	W.h/día	
CARGAS ESPECIALES	0,000	W		0,000	W.h/día	
ALUMBRADO PÚBLICO	0,000	W		0,000	W.h/día	
SUBTOTAL 1	P1	139,000	W	E1	307,000	W.h/día
EFICIENCIA DEL INVERSOR		87	%	MARCA:VICTRON ENERGY_MODELO:PHOENIX 12/250		
SUBTOTAL 2	P2	159,770	W	E2	352,874	W.h/día
FACTOR DE SEGURIDAD		15	%			
CONSUMO TOTAL DE LA INSTALACION	Pt	183,736	W	Et	405,805	W.h/día

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.1.2. Comunidad El Verde

Datos de identificación:

Tabla 28: Datos de identificación comunidad El Verde.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN					
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ - REGIÓN AMAZONAS.					
TESIS					
COMUNIDAD	EL VERDE	PROVINCIA	BONGARÁ		
DISTRITO	COROSHA	REGIÓN	AMAZONAS		
LATITUD	-5.819989	LONGITUD	-77.86364		
TIPO DE CONSUMO	CONTINUO: 7 d/s	X	TEMPORADA DE CONSUMO	VERANO/INVIERNO	TODO EL AÑO
	MEDIO: 5 d/s			MES DE DISEÑO	FEBRERO
	BAJO: Fin de sem		TIPO DE INSTALACIÓN	CENTRALIZADO	AUTÓNOMO

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Proyección de la población:

Tabla 29: Proyección de población y vivienda comunidad El Verde.

POBLACIÓN Y VIVIENDA					
CRECIMIENTO	PROYECCIÓN	POBLACIÓN		VIVIENDA	
		ACTUAL	PROYECTADA	ACTUAL	PROYECTADA
i	n	PO	$PO \cdot (1 + i)^n$	NU	$NU \cdot (PO_n / PO)$
1.582%	20	61	84	16	23

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de cargas unitarias:

Tabla 30: Consumos unitarios de la comunidad El Verde.

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
SERVICIO PARTICULAR		23			
Lámparas	8	3	3.5	24	84
Radio	10	1	5.0	10	50
Carga de celular	5	3	2.0	15	30
Televisor	60	1	2.0	60	120
Video	20	1	2.0	20	40
SUBTOTAL CONSUMO VIVIENDA				129	324
CONSUMO TOTAL_SERVICIO PARTICULAR				2 967,000	7 452,000
CARGAS ESPECIALES		4			
LOCAL COMUNAL		1			
Lámparas	8	2	3.0	16	48
Equipo de sonido	200	1	3.0	200	600
Televisor 50" LED	100	1	1.5	100	150
Carga de celular	5	1	2.0	5	10
SUBTOTAL CONSUMO_LOCAL COMUNAL				46	115
IGLESIA EVANGÉLICA		1			
Lámparas	8	4	3.0	32	96
Equipo de sonido	200	1	2.0	200	400
Órgano	25	1	6.0	25	150
SUBTOTAL CONSUMO_IGLESIA EVANGÉLICA				37	92
CENTRO EDUCATIVO INICIAL		1			
Lámparas	8	2	1.0	16	16
Equipo de sonido	200	1	2.5	200	500
Televisor	60	1	1.0	60	60
Carga de celular	5	1	2.0	5	10
SUBTOTAL CONSUMO_CENTRO EDUCATIVO INICIAL				201	419
CENTRO EDUCATIVO PRIMARIA		1			
Lámparas	15	4	5.0	60	300

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
Equipo de sonido	200	1	1.0	200	200
Televisor	60	1	1.0	60	60
Video	20	1	1.0	20	20
Computadora	100	1	2.0	100	200
Carga de celular	5	1	2.0	5	10
SUBTOTAL CONSUMO_CENTRO EDUCATIVO PRIMARIA				318	564
CONSUMO TOTAL_CARGAS ESPECIALES				601,143	1 190,571
ALUMBRADO PÚBLICO 4% máx					
Punto de iluminación	60	1	4.0	60	240
CONSUMO TOTAL_ALUMBRADO PÚBLICO				60,000	240,000

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de la potencia y energía total diaria:

Tabla 31: Potencia y energía total de la instalación, comunidad El Verde.

POTENCIA Y ENERGÍA DIARIOS TOTAL						
ELEMENTO DE CONSUMO	POTENCIA (W/día)			ENERGÍA (W.h/día)		
CARGAS SERVICIO PARTICULAR	2 967,000	W		7 452,000	W.h/día	
CARGAS ESPECIALES	601,143	W		1 190,571	W.h/día	
ALUMBRADO PÚBLICO	60,000	W		240,000	W.h/día	
SUBTOTAL 1	P1 3 628,143	W		E1 8 882,571	W.h/día	
EFICIENCIA DEL INVERSOR	93	%		MARCA:MUST SOLAR_MODELO:PV18-5048 HM + REGULADOR MPPT		
SUBTOTAL 2	P2 3 901,229	W		E2 9 551,152	W.h/día	
FACTOR DE SEGURIDAD	15	%				
CONSUMO TOTAL DE LA INSTALACION	Pt 4 486,413	W		Et 10 983,825	W.h/día	

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.1.3. Comunidad San José

Datos de identificación:

Tabla 32: Datos de identificación comunidad San José.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN			
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ - REGIÓN AMAZONAS.			
COMUNIDAD	SAN JOSÉ	PROVINCIA	BONGARÁ
DISTRITO	YAMBRASBAMBA	REGIÓN	AMAZONAS
LATITUD	-5.684094	LONGITUD	-78.024135

DATOS DE IDENTIFICACIÓN					
TESIS	IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ - REGIÓN AMAZONAS.				
	CONTINUO: 7 d/s	X	TEMPORADA DE CONSUMO	VERANO/INVIERNO	TODO EL AÑO
	MEDIO: 5 d/s			MES DE DISEÑO	FEBRERO
TIPO DE CONSUMO	BAJO: Fin de sem		TIPO DE INSTALACIÓN	CENTRALIZADO	AUTÓNOMO

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Proyección de la población:

Tabla 33: Proyección de población y vivienda comunidad San José.

POBLACIÓN Y VIVIENDA					
CRECIMIENTO	PROYECCIÓN	POBLACIÓN		VIVIENDA	
		ACTUAL	PROYECTADA	ACTUAL	PROYECTADA
i	n	PO	$PO \cdot (1 + i)^n$	NU	$NU \cdot (PO_n/PO)$
1.582%	20	67	92	18	25

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de cargas unitarias:

Tabla 34: Consumos unitarios de la comunidad San José.

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
SERVICIO PARTICULAR		25			
Lámparas	8	4	3.5	32	112
Radio	10	1	3.0	10	30
Carga de celular	5	3	2.0	15	30
Televisor	60	1	2.0	60	120
Video	20	1	2.0	20	40
SUBTOTAL CONSUMO VIVIENDA				137	332
CONSUMO TOTAL_SERVICIO PARTICULAR				3 425,000	8 300,000
CARGAS ESPECIALES		5			
LOCAL COMUNAL		1			
Lámparas	8	4	3.0	32	96
Equipo de sonido	200	1	3.0	200	600
Televisor 50" LED	100	1	1.5	100	150
Carga de celular	5	1	2.0	5	10
SUBTOTAL CONSUMO_LOCAL COMUNAL				48	122
IGLESIA CATÓLICA		1			
Lámparas	8	6	3.0	48	144

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
Equipo de sonido	200	1	1.0	200	200
Órgano	25	1	1.0	25	25
SUBTOTAL CONSUMO_IGLESIA CATÓLICA				78	105
I.E.I. N° 129 SAN JOSÉ		1			
Lámparas	8	8	1.0	64	64
Equipo de sonido	200	1	2.5	200	500
Televisor	60	1	1.0	60	60
Carga de celular	5	3	2.0	15	30
SUBTOTAL CONSUMO_I.E.I. N° 129 SAN JOSÉ				242	467
I.E. N° 18443 SAN JOSÉ		1			
Lámparas	15	10	1.0	150	150
Equipo de sonido	200	1	1.0	200	200
Televisor	60	1	1.0	60	60
Video	20	1	1.0	20	20
Computadora	100	5	2.0	500	1000
Carga de celular	5	1	2.0	5	10
SUBTOTAL CONSUMO_I.E. N° 18443 SAN JOSÉ				668	1029
CENTRO DE SALUD		1			
Lámparas	10	6	8.0	60	480
Radio	10	1	5.0	10	50
Televisor	60	1	3.0	60	180
Otro equipo	80	1	4.0	80	320
SUBTOTAL CONSUMO_CENTRO DE SALUD				210	1030
CONSUMO TOTAL_CARGAS ESPECIALES				1246,143	2753,429
ALUMBRADO PÚBLICO		4% máx			
Punto de iluminación	60	1	4.0	60	240
CONSUMO TOTAL_ALUMBRADO PÚBLICO				60,000	240,000

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de la potencia y energía total diaria:

Tabla 35: Potencia y energía total de la instalación, comunidad San José.

POTENCIA Y ENERGÍA DIARIOS TOTAL						
ELEMENTO DE CONSUMO	POTENCIA (W/día)			ENERGÍA (W.h/día)		
CARGAS SERVICIO PARTICULAR	3425,000	W		8300,000	W.h/día	
CARGAS ESPECIALES	1246,143	W		2753,429	W.h/día	
ALUMBRADO PÚBLICO	60,000	W		240,000	W.h/día	
SUBTOTAL 1	P1	4731,143	W	E1	11 293,429	W.h/día
EFICIENCIA DEL INVERSOR		93	%	MARCA:MUST SOLAR_MODELO:5000W 48V MPPT		
SUBTOTAL 2	P2	5087,250	W	E2	12 143,472	W.h/día
FACTOR DE SEGURIDAD		15	%			
CONSUMO TOTAL DE LA INSTALACION	Pt	5850,338	W	Et	13 964,992	W.h/día

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.1.4. Comunidad Perla del Imaza

Datos de identificación:

Tabla 36: Datos de identificación comunidad Perla del Imaza.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN					
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENCIONALES EN LA PROVINCIA DE BONGARÁ - REGIÓN AMAZONAS.					
COMUNIDAD	PERLA DEL IMAZA	PROVINCIA	BONGARÁ		
DISTRITO	YAMBRASBAMBA	REGIÓN	AMAZONAS		
LATITUD	-5.589786	LONGITUD	-77.968516		
TIPO DE CONSUMO	CONTINUO: 7 d/s	X	TEMPORADA DE	VERANO/INVIERNO	TODO EL AÑO
	MEDIO: 5 d/s		CONSUMO	MES DE DISEÑO	FEBRERO
	BAJO: Fin de sem		TIPO DE INSTALACIÓN	CENTRALIZADO	AUTÓNOMO

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Proyección de la población:

Tabla 37: Proyección de población y vivienda comunidad Perla del Imaza.

POBLACIÓN Y VIVIENDA					
CRECIMIENTO	PROYECCIÓN	POBLACIÓN		VIVIENDA	
		ACTUAL	PROYECTADA	ACTUAL	PROYECTADA
i	n	PO	$PO*(1+i)^n$	NV	$NV*(POn/PO)$
1.582%	20	89	122	29	40

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de cargas unitarias:

Tabla 38: Consumos unitarios de la comunidad Perla del Imaza.

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO					
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)
SERVICIO PARTICULAR		40			
Lámparas	8	4	3.5	32	112
Radio	10	1	3.0	10	30
Carga de celular	5	3	2.0	15	30
Televisor	60	1	2.0	60	120
Video	20	1	2.0	20	40
SUBTOTAL CONSUMO VIVIENDA				137	332
CONSUMO TOTAL_SERVICIO PARTICULAR				5 480,000	13 280,000

CONSUMOS DIARIOS UNITARIOS DE VIVIENDAS, CARGAS ESPECIALES Y ALUMBRADO PÚBLICO						
CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	CANTIDAD	HORAS DIARIAS DE USO (h/día)	POTENCIA DIARIA (W)	ENERGÍA DIARIA (W.h/día)	
CARGAS ESPECIALES		6				
LOCAL COMUNAL		1				
Lámparas	8	4	3.0	32	96	
Equipo de sonido	200	1	3.0	200	600	
Televisor 50" LED	100	1	1.5	100	150	
Carga de celular	5	1	2.0	5	10	
SUBTOTAL CONSUMO_LOCAL COMUNAL				48	122	
IGLESIA EVANGÉLICA		2				
Lámparas	8	4	3.0	32	96	
Equipo de sonido	200	1	2.0	200	400	
Órgano	25	1	5.0	25	125	
SUBTOTAL CONSUMO_IGLESIA EVANGÉLICA				73	177	
CENTRO EDUCATIVO INICIAL N° 128		1				
Lámparas	8	8	1.0	64	64	
Equipo de sonido	200	1	2.5	200	500	
Televisor	60	1	1.0	60	60	
Carga de celular	5	3	2.0	15	30	
SUBTOTAL CONSUMO_CENTRO EDUCATIVO INICIAL N° 128				242	467	
CENTRO EDUCATIVO PRIMARIA N°18426		1				
Lámparas	15	10	1.0	150	150	
Equipo de sonido	200	1	1.0	200	200	
Televisor	60	1	1.0	60	60	
Video	20	1	1.0	20	20	
Computadora	100	5	2.0	500	1000	
Carga de celular	5	1	2.0	5	10	
SUBTOTAL CONSUMO_CENTRO EDUCATIVO PRIMARIA N°18426				668	1029	
CENTRO DE SALUD		1				
Lámparas	10	6	8.0	60	480	
Radio	10	1	5.0	10	50	
Televisor	60	1	3.0	60	180	
Otro equipo	80	1	4.0	80	320	
SUBTOTAL CONSUMO_CENTRO DE SALUD				210	1030	
CONSUMO TOTAL_CARGAS ESPECIALES				1 241,571	2 825,429	
ALUMBRADO PÚBLICO		4% máx				
Punto de iluminación	60	1	4.0	60	240	
CONSUMO TOTAL_ALUMBRADO PÚBLICO				60,000	240,000	

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de la potencia y energía total diaria:

Tabla 39: Potencia y energía total de la instalación, comunidad Perla del Imaza.

POTENCIA Y ENERGÍA DIARIOS TOTAL					
ELEMENTO DE CONSUMO	POTENCIA (W/día)			ENERGÍA (W.h/día)	
CARGAS SERVICIO PARTICULAR	5 480,000	W		13 280,000	W.h/día
CARGAS ESPECIALES	1 241,571	W		2 825,429	W.h/día
ALUMBRADO PÚBLICO	60,000	W		240,000	W.h/día
SUBTOTAL 1	P1	6 781,571	W	E1	16 345,429
EFICIENCIA DEL INVERSOR		93	%	MARCA:MUST SOLAR_MODELO:5000W 48V MPPT	
SUBTOTAL 2	P2	7 292,012	W	E2	17 575,730
FACTOR DE SEGURIDAD		15	%		
CONSUMO TOTAL DE LA INSTALACION	Pt	8 385,814	W	Et	20 212,089

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.2. Determinación de la radicación solar promedio

5.2.1. Comunidad La Jalca

Datos de irradiación solar de acuerdo a fuentes:

Tabla 40: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad La Jalca.

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO / MES				
MES DEL AÑO	ATLAS SENAMHI	METEONORM	PDAV (NASA)	GSA (THE WORLD BANK)
ENERO	4,750	5,258	3,720	3,953
FEBRERO	4,250	5,357	3,440	3,953
MARZO	4,250	5,419	3,760	3,953
ABRIL	4,750	5,533	3,910	3,953
MAYO	5,250	5,452	4,130	3,953
JUNIO	5,750	5,267	4,180	3,953
JULIO	5,250	5,323	4,300	3,953
AGOSTO	4,750	5,484	4,410	3,953
SETIEMBRE	5,750	5,767	4,470	3,953
OCTUBRE	5,250	5,581	4,440	3,953
NOVIEMBRE	5,750	5,567	4,600	3,953
DICIEMBRE	4,750	5,452	4,170	3,953
PROMEDIO	5,042	5,455	4,128	3,953

Fuente: Atlas Senamhi 2003, Software Meteonorm, PDAV, GSA

Datos de irradiación elegido para el sistema fotovoltaico:

Tabla 41: Condiciones de irradiación elegido, comunidad La Jalca.

CONDICIONES DE IRRADIACIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO			
PROMEDIO ELEGIDO		3,953	kW.h/m2.día
FUENTE ELEGIDA	GSA (THE WORLD BANK)		
MES DE DISEÑO	m	FEBRERO	
IRRADIACIÓN SOLAR ÓPTIMA	GTI	3,953	kW.h/m2.día
RADIACIÓN EN CONDICIONES CEM	CEM	1,000	kW/m2.día
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	3,953	h
ÁNGULO ÓPTIMO DE ELEVACIÓN	OPTA	6_NORTE	°
TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP	12,600	°C
ELEVACIÓN	ELE	2 700,000	m.s.n.m.

Fuente: Global Solar Atlas (The World Bank).

5.2.2. Comunidad El Verde

Datos de irradiación solar de acuerdo a fuentes:

Tabla 42: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad El Verde.

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO / MES				
MES DEL AÑO	ATLAS SENAMHI	METEONORM	PDAV (NASA)	GSA (THE WORLD BANK)
ENERO	4,750	5,258	3,720	4,375
FEBRERO	4,250	5,357	3,440	4,375
MARZO	4,250	5,452	3,760	4,375
ABRIL	4,750	5,600	3,910	4,375
MAYO	5,250	5,484	4,130	4,375
JUNIO	4,750	5,333	4,180	4,375
JULIO	5,250	5,419	4,300	4,375
AGOSTO	4,750	5,581	4,410	4,375
SEPTIEMBRE	5,750	5,833	4,470	4,375
OCTUBRE	5,250	5,613	4,440	4,375
NOVIEMBRE	5,750	5,600	4,600	4,375
DICIEMBRE	4,750	5,452	4,170	4,375
PROMEDIO	4,958	5,498	4,128	4,375

Fuente: Atlas Senamhi 2003, Software Meteonorm, PDAV, GSA.

Datos de irradiación elegido para el sistema fotovoltaico:

Tabla 43: Condiciones de irradiación elegido, comunidad El Verde.

CONDICIONES DE IRRADIACIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO			
PROMEDIO ELEGIDO		4,128	kW.h/m2.día
FUENTE ELEGIDA		PDAV (NASA)	
MES DE DISEÑO	m	FEBRERO	
IRRADIACIÓN SOLAR ÓPTIMA	GTI	3,440	kW.h/m2.día
RADIACIÓN EN CONDICIONES CEM	CEM	1,000	kW/m2.día
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	3,440	h
ÁNGULO ÓPTIMO DE ELEVACIÓN	OPTA	7.5_NORTE	°
TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP	14,600	°C
ELEVACIÓN	ELE	2 160,000	m.s.n.m.

Fuente: Power Data Access View (Nasa).

5.2.3. Comunidad San José

Datos de irradiación solar de acuerdo a fuentes:

Tabla 44: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad San José.

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO / MES				
MES DEL AÑO	ATLAS SENAMHI	METEONORM	PDAV (NASA)	GSA (THE WORLD BANK)
ENERO	4,750	4,935	4,150	4,249
FEBRERO	4,250	5,071	3,710	4,249
MARZO	4,250	5,129	4,190	4,249
ABRIL	4,750	5,200	4,270	4,249
MAYO	5,250	5,194	4,560	4,249
JUNIO	4,750	4,933	4,630	4,249
JULIO	5,250	4,871	4,700	4,249
AGOSTO	4,750	5,161	4,790	4,249
SETIEMBRE	5,750	5,567	4,930	4,249
OCTUBRE	5,250	5,355	4,890	4,249
NOVIEMBRE	5,750	5,300	5,190	4,249
DICIEMBRE	4,750	5,129	4,660	4,249
PROMEDIO	4,958	5,154	4,556	4,249

Fuente: Atlas Senamhi 2003, Software Meteonorm, PDAV, GSA.

Datos de irradiación elegido para el sistema fotovoltaico:

Tabla 45: Condiciones de irradiación elegido, comunidad San José.

CONDICIONES DE IRRADIACIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO			
PROMEDIO ELEGIDO		4,249	kW.h/m ² .día
FUENTE ELEGIDA		GSA (THE WORLD BANK)	
MES DE DISEÑO	m	FEBRERO	
IRRADIACIÓN SOLAR ÓPTIMA	GTI	4,249	kW.h/m ² .día
RADIACIÓN EN CONDICIONES CEM	CEM	1,000	kW/m ² .día
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	4,249	h
ÁNGULO ÓPTIMO DE ELEVACIÓN	OPTA	7_NORTE	°
TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP	15,300	°C
ELEVACIÓN	ELE	2 065,000	m.s.n.m.

Fuente: Global Solar Atlas (The World Bank).

5.2.4. Comunidad Perla del Imaza

Datos de irradiación solar de acuerdo a fuentes:

Tabla 46: Datos de irradiación solar promedio diaria por mes, comunidad Perla del Imaza.

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO / MES				
MES DEL AÑO	ATLAS SENAMHI	METEONORM	PDAV (NASA)	GSA (THE WORLD BANK)
ENERO	4,750	4,935	3,720	4,427
FEBRERO	4,250	5,036	3,440	4,427
MARZO	4,250	5,323	3,760	4,427
ABRIL	4,750	5,567	3,900	4,427
MAYO	5,250	5,484	4,120	4,427
JUNIO	4,750	5,267	4,170	4,427
JULIO	5,250	5,323	4,290	4,427
AGOSTO	4,750	5,516	4,400	4,427
SETIEMBRE	5,750	5,933	4,470	4,427
OCTUBRE	5,250	5,613	4,440	4,427
NOVIEMBRE	5,750	5,433	4,600	4,427
DICIEMBRE	4,750	5,226	4,180	4,427
PROMEDIO	4,958	5,388	4,124	4,427

Fuente: Atlas Senamhi 2003, Software Meteonorm, PDAV, GSA.

Datos de irradiación elegido para el sistema fotovoltaico:

Tabla 47: Condiciones de irradiación elegido, comunidad Perla del Imaza.

CONDICIONES DE IRRADIACIÓN PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO			
PROMEDIO ELEGIDO		4,124	kW.h/m ² .día
FUENTE ELEGIDA		PDAV (NASA)	
MES DE DISEÑO		FEBRERO	
IRRADIACIÓN SOLAR ÓPTIMA	GTI	3,440	kW.h/m ² .día
RADIACIÓN EN CONDICIONES CEM	CEM	1,000	kW/m ² .día
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	3,440	h
ÁNGULO ÓPTIMO DE ELEVACIÓN	OPTA	6.5_NORTE	°
TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP	16,200	°C
ELEVACIÓN	ELE	1 814,000	m.s.n.m.

Fuente: Power Data Access View (Nasa).

5.3. Selección de los equipos y componentes

5.3.1. Sistema fotovoltaico

5.3.1.1. Comunidad La Jalca

Dimensionamiento del acumulador:

Tabla 48: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad La Jalca.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	405,805	W.h/día
PÉRDIDAS POR RENDIMIENTO DEL ACUMULADOR	PR_{ac}	10	%
ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	E_T	446,385	W.h/día
PROFUNDIDAD DE DESCARGA MÁXIMA	$PD_{máx}$	70	%
DÍAS DE AUTONOMÍA	DA	3	días
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	12	V
CAPACIDAD DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	C_{ac}	159,423	A.h

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del acumulador:

Tabla 49: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad La Jalca.

ELECCIÓN DEL ACUMULADOR Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL ACUMULADOR ELEGIDO			
MARCA		U-POWER	
MODELO		UP-SPO	
TENSIÓN DE LA BATERIA	V_{bat}	12	V
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{100}	165	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{20}	140	A.h
ANCHO	a	513	mm
FONDO	f	189	mm
ALTO	h	223	mm
DISPOSICIÓN DEL ACUMULADOR			
NÚMERO DE ACUMULADORES TOTAL	AC_t	1	unidad
NÚMERO DE ACUMULADORES EN SERIE	AC_s	1	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE ACUMULADORES EN PARALELO	AC_p	1	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
CAPACIDAD MÁXIMA DEL ACUMULADOR	$C_{máx}$	165	A.h
TIEMPO DE USO DIARIO	t_d	2,209	h
TIEMPO DE AUTONOMÍA	t_a	9,466	h

Fuente: Elaborado a partir de las EE.TT de la batería U-Power.

Dimensionamiento del generador fotovoltaico:

Tabla 50: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad La Jalca.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	405,805	W.h/día
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO MFV	CR_{MFV}	0,90	unidad
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	3,953	h
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	12	V
POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	P_G	114,051	Wp

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del módulo fotovoltaico:

Tabla 51: Elección del MFV y características del sistema, comunidad La Jalca.

ELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL PANEL ELEGIDO			
MARCA		ERA SOLAR	
MODELO		PANEL SOLAR 150W 12V	
TENSIÓN NOMINAL	V_{MFV}	12	V
POTENCIA MÁXIMA	$P_{m\acute{a}x}$	150	Wp
INTENSIDAD EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	I_{ppm}	8,200	A
TENSIÓN EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	V_{ppm}	18,300	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO	I_{sc}	8,690	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO	V_{oc}	22,700	V
NÚMERO DE CÉLULAS	#	36	unidad
EFICIENCIA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	n	15	%
ANCHO	a	676	mm
ALTO	h	1 482	mm
DISPOSICIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO			
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS TOTAL	MFV_t	1,00	unidad
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN SERIE	MFV_s	1,00	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN PARALELO	MFV_p	1,00	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
INTENSIDAD EN EL PPM DEL GENERADOR	$I_{G ppm}$	8,200	A
TENSIÓN EN EL PPM DEL GENERADOR	$V_{G ppm}$	18,300	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G sc}$	8,690	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G oc}$	22,700	V
POTENCIA MÁXIMA DEL GENERADOR	$P_{Gm\acute{a}x}$	150,000	Wp

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del módulo fotovoltaico ERA SOLAR 150W.

Dimensionamiento del Regulador:

Tabla 52: Dimensionamiento del sistema de regulación, comunidad La Jalca.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN			
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G sc}$	8,690	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G oc}$	22,70	V
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	12	V
INTENSIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA DE REGULACIÓN	$I_{R m\acute{a}x}$	9,559	A

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del Regulador:

Tabla 53: Elección del regulador y características del sistema, comunidad La Jalca.

ELECCIÓN DEL REGULADOR Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL REGULADOR ELEGIDO			
MARCA		SOLAR SYSTEM	
MODELO		PC1500B-10	
TENSIÓN NOMINAL	V_R	12	V
INTENSIDAD NOMINAL	I_R	10	A
VOLTAJE CARGA FLOTACIÓN		13,8	V
VOLTAJE CARGA ABSORCIÓN		14,4	V
VOLTAJE DE CARGA ECUALIZACIÓN		14,6	V
CONSUMO EN STAND-BY		13	mA
PROTECCIÓN BAJO VOLTAJE		10,7	V
RECONECCIÓN BAJO VOLTAJE		12,6	V
DISPOSICIÓN DEL(LOS) REGULADOR(S)			
NÚMERO DE REGULADORES TOTAL	R_t	1	unidad
NÚMERO DEREGULADORES EN PARALELO	R_p	1	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE MFV POR REGULADOR		1	unidad

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del regulador PC1500B-10.

Dimensionamiento del Inversor:

Tabla 54: Dimensionamiento del sistema de inversión, comunidad La Jalca.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INVERSIÓN CD/CA			
CONSUMO DE POTENCIA A LA CARGA	P_1	139,000	W
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	12	V

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del inversor:

Tabla 55: Elección del inversor, comunidad La Jalca.

ELECCIÓN DEL INVERSOR			
DATOS DEL INVERSOR ELEGIDO			
MARCA		VICTRON ENERGY	
MODELO		PHOENIX 12/250	
POTENCIA DEL INVERSOR	PI	200	W
POTENCIA DEL INVERSOR	PI	250	VA

ELECCIÓN DEL INVERSOR			
DATOS DEL INVERSOR ELEGIDO			
PICO DE POTENCIA	PI pico	400	VA
TIPO DE ONDA	SONOIDAL PURA		
TENSIÓN DE ENTRADA	VI CC	12	V
TENSIÓN DE SALIDA	VI AC	230	V
EFICIENCIA DEL INVERSOR		87	%
DISPOSICIÓN DEL(LOS) INVERSOR(S)			
NÚMERO DE INVERSORES TOTAL	INt	1	unidad
NÚMERO DE INVERSORES EN PARALELO	INp	1	unidad

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del inversor PHOENIX 15/250.

5.3.1.2. Comunidad El Verde

Dimensionamiento del acumulador:

Tabla 56: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad El Verde.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	10 983,825	W.h/día
PÉRDIDAS POR RENDIMIENTO DEL ACUMULADOR	PR_{ac}	10	%
ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	ET	12 082,207	W.h/día
PROFUNDIDAD DE DESCARGA MÁXIMA	$PD_{máx}$	70	%
DÍAS DE AUTONOMÍA	DA	3	días
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
CAPACIDAD DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	C_{ac}	1 078,769	A.h

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del acumulador:

Tabla 57: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad El Verde.

ELECCIÓN DEL ACUMULADOR Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL ACUMULADOR ELEGIDO			
MARCA	ULTRACELL		
MODELO	UZ600-6		
TENSIÓN DEL VASO	V_{bat}	6	V

ELECCIÓN DEL ACUMULADOR Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL ACUMULADOR ELEGIDO			
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{120}	600	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{100}	550	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{10}	360	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_5	324	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_1	202	A.h
DISPOSICIÓN DEL ACUMULADOR			
NÚMERO DE ACUMULADORES TOTAL	AC_t	16	unidad
NÚMERO DE ACUMULADORES EN SERIE	AC_s	8	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE ACUMULADORES EN PARALELO	AC_p	2	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
CAPACIDAD MÁXIMA DEL ACUMULADOR	$C_{máx}$	1 200	A.h
TIEMPO DE USO DIARIO	t_d	2,448	h
TIEMPO DE AUTONOMÍA	t_a	10,492	h

Fuente: Elaborado a partir de las EE.TT de la batería U-Power UZ600-6.

Dimensionamiento del generador fotovoltaico:

Tabla 58: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad El Verde.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	10 983,825	W.h/día
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO MFV	CR_{MFV}	0.90	unidad
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	3,440	h
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	P_G	3 547,747	Wp

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del módulo fotovoltaico:

Tabla 59: Elección del MFV y características del sistema, comunidad El Verde.

ELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL PANEL ELEGIDO			
MARCA	ERA SOLAR		
MODELO	ESPMC		
TENSIÓN NOMINAL	V_{MFV}	24	V

ELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL PANEL ELEGIDO			
POTENCIA MÁXIMA	$P_{m\acute{a}x}$	300	Wp
INTENSIDAD EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	I_{ppm}	8,100	A
TENSIÓN EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	V_{ppm}	37,000	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO	I_{sc}	8,700	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO	V_{oc}	44,800	V
NÚMERO DE CÉLULAS	#	72	unidad
EFICIENCIA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	n	15,5	%
ANCHO	a	992	mm
ALTO	h	1 956	mm
DISPOSICIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO			
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS TOTAL	MFV_t	12,00	unidad
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN SERIE	MFV_s	2,00	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN PARALELO	MFV_p	6,00	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
INTENSIDAD EN EL PPM DEL GENERADOR	$I_{G ppm}$	48,600	A
TENSIÓN EN EL PPM DEL GENERADOR	$V_{G ppm}$	74,000	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G sc}$	52,200	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G oc}$	89,600	V
POTENCIA MÁXIMA DEL GENERADOR	$P_{Gm\acute{a}x}$	3 600,000	Wp

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del módulo fotovoltaico ERA SOLAR.

Dimensionamiento del inversor de corriente, más regulador MPPT:

Tabla 60: Dimensionamiento del Inversor-regulador MPPT, comunidad El Verde.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN + INVERSIÓN CC/CA			
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G sc}$	52,200	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G oc}$	89,60	V
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
INTENSIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA DE REGULACIÓN	$I_{R m\acute{a}x}$	65,250	A
CONSUMO DE POTENCIA A LA CARGA	P_1	3 628,143	W

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del inversor con regulador MPPT:

Tabla 61: Elección del inversor-regulador MPPT, comunidad El Verde.

ELECCIÓN DEL INVERSOR-CONTROLADOR DE CARGA MPPT			
DATOS DEL INVERSOR ELEGIDO			
MARCA		MUST SOLAR	
MODELO		PV18-5048 HM + REGULADOR MPPT	
POTENCIA DEL INVERSOR	P_I	4 000	W
POTENCIA DEL INVERSOR	P_I	5 000	VA
PICO DE POTENCIA	$P_{I\text{pico}}$	10 000	VA
TIPO DE ONDA		SINOIDAL PURA	
TENSIÓN DE ENTRADA	$V_{INV\text{CC}}$	48	V
TENSIÓN DE SALIDA	$V_{INV\text{AC}}$	220	V
EFICIENCIA DEL INVERSOR		93	%
CARGADOR SOLAR MPPT			
VOLTAJE MÁXIMO DE CIRCUITO ABIERTO	$V_{R\text{OC}}$	145	V
RANGO DE VOLTAJE MPPT		64-130	V
POTENCIA DE ENTRADA FV	$P_{R\text{máx}}$	4000	W
CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA	$I_{\text{máx}}$	80	A
EFICIENCIA MÁXIMA		98	%
DISPOSICIÓN DEL(LOS) INVERSOR(S)			
NÚMERO DE INVERSORES TOTAL	INV_t	1	unidad
NÚMERO DE INVERSORES EN PARALELO	INV_p	1	unidad

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del inversor MPPT MUST PV18-50-48 HM.

5.3.1.3. Comunidad San José

Dimensionamiento del acumulador:

Tabla 62: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad San José.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	13 964,992	W.h/día
PÉRDIDAS POR RENDIMIENTO DEL ACUMULADOR	PR_{ac}	10	%
ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	ET	15 361,492	W.h/día
PROFUNDIDAD DE DESCARGA MÁXIMA	$PD_{\text{máx}}$	70	%
DÍAS DE AUTONOMÍA	DA	3	días
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
CAPACIDAD DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	C_{ac}	1 371,562	A.h

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del acumulador:

Tabla 63: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad San José.

ELECCIÓN DEL ACUMULADOR Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL ACUMULADOR ELEGIDO			
MARCA		ULTRACELL	
MODELO		UCG 690-2	
TENSIÓN DEL VASO	V_{bat}	2	V
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{100}	690	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{20}	640	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{10}	600	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_5	516	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_1	352	A.h
DISPOSICIÓN DEL ACUMULADOR			
NÚMERO DE ACUMULADORES TOTAL	AC_t	48	unidad
NÚMERO DE ACUMULADORES EN SERIE	AC_s	24	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE ACUMULADORES EN PARALELO	AC_p	2	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
CAPACIDAD MÁXIMA DEL ACUMULADOR	$C_{m\acute{a}x}$	1 380	A.h
TIEMPO DE USO DIARIO	t_d	2,387	h
TIEMPO DE AUTONOMÍA	t_a	10,230	h

Fuente: Elaborado a partir de las EE.TT de la batería Ultracell UCG 690-2.

Dimensionamiento del generador fotovoltaico:

Tabla 64: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad San José.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	13 964,992	W.h/día
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO MFV	CR_{MFV}	0.90	unidad
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	4,249	h
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	P_G	3 651,838	Wp

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del módulo fotovoltaico:

Tabla 65: Elección del MFV y características del sistema, comunidad San José.

ELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL PANEL ELEGIDO			
MARCA		ERA SOLAR	
MODELO		ESPMC	
TENSIÓN NOMINAL	V_{MFV}	24	V
POTENCIA MÁXIMA	$P_{m\acute{a}x}$	325	Wp
INTENSIDAD EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	I_{ppm}	8,600	A
TENSIÓN EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	V_{ppm}	37,800	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO	I_{sc}	9,200	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO	V_{oc}	45,600	V
NÚMERO DE CÉLULAS	#	72	unidad
EFICIENCIA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	n	15,5	%
ANCHO	a	992	mm
ALTO	h	1956	mm
DISPOSICIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO			
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS TOTAL	MFV_t	12,00	unidad
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN SERIE	MFV_s	2,00	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN PARALELO	MFV_p	6,00	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
INTENSIDAD EN EL PPM DEL GENERADOR	$I_{G ppm}$	51,600	A
TENSIÓN EN EL PPM DEL GENERADOR	$V_{G ppm}$	75,600	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G sc}$	55,200	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G oc}$	91,200	V
POTENCIA MÁXIMA DEL GENERADOR	$P_{Gm\acute{a}x}$	3 900,000	Wp

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del módulo fotovoltaico ERA SOLAR ESPMC.

Dimensionamiento del inversor de corriente, más regulador MPPT:

Tabla 66: Dimensionamiento del Inversor-regulador MPPT, comunidad San José.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN + INVERSIÓN			
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G sc}$	55,200	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G oc}$	91,200	V
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
INTENSIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA DE REGULACIÓN	$I_{R m\acute{a}x}$	69,000	A
CONSUMO DE POTENCIA A LA CARGA	P_1	4 731,143	W

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del inversor con regulador MPPT:

Tabla 67: Elección del inversor-regulador MPPT, comunidad San José.

ELECCIÓN DEL INVERSOR-CONTROLADOR DE CARGA MPPT			
DATOS DEL INVERSOR ELEGIDO			
MARCA		MUST SOLAR	
MODELO		5000W 48V MPPT	
POTENCIA DEL INVERSOR	P_I	5 000	W
POTENCIA DEL INVERSOR	P_I	5 000	VA
PICO DE POTENCIA	$P_{I\text{pico}}$	10 000	VA
TIPO DE ONDA		SINOIDAL PURA	
TENSIÓN DE ENTRADA	$V_{INV\text{CC}}$	48	V
TENSIÓN DE SALIDA	$V_{INV\text{AC}}$	230	V
EFICIENCIA DEL INVERSOR		93	%
CARGADOR SOLAR MPPT			
VOLTAJE MÁXIMO DE CIRCUITO ABIERTO	$V_{R\text{OC}}$	145	V
RANGO DE VOLTAJE MPPT		64-130	V
POTENCIA DE ENTRADA FV	$P_{R\text{máx}}$	4000	W
CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA	$I_{\text{máx}}$	80	A
CONSUMO STAND BY		30	W
DISPOSICIÓN DEL(LOS) INVERSOR(S)			
NÚMERO DE INVERSORES TOTAL	INV_t	1	unidad
NÚMERO DE INVERSORES EN PARALELO	INV_p	1	unidad

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del inversor MPPT MUST 5 000W 48V.

5.3.1.4. Comunidad Perla del Imaza

Dimensionamiento del acumulador:

Tabla 68: Dimensionamiento del sistema de acumulación, comunidad Perla del Imaza.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	20 212,289	W.h/día
PÉRDIDAS POR RENDIMIENTO DEL ACUMULADOR	PR_{ac}	10	%
ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	ET	22 233,298	W.h/día
PROFUNDIDAD DE DESCARGA MÁXIMA	$PD_{\text{máx}}$	70	%
DÍAS DE AUTONOMÍA	DA	3	días
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
CAPACIDAD DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	C_{ac}	1 985,116	A.h

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del acumulador:

Tabla 69: Elección del acumulador y características del sistema, comunidad Perla del Imaza.

ELECCIÓN DEL ACUMULADOR Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL ACUMULADOR ELEGIDO			
MARCA		CLASSIC	
MODELO		ENERSOL T 1000	
TENSIÓN DEL VASO	V_{bat}	2	V
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{120}	1 025	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{100}	993	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{72}	1 089	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{48}	1 008	A.h
CAPACIDAD DE LA BATERIA	C_{24}	840	A.h
DISPOSICIÓN DEL ACUMULADOR			
NÚMERO DE ACUMULADORES TOTAL	AC_t	48	unidad
NÚMERO DE ACUMULADORES EN SERIE	AC_s	24	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE ACUMULADORES EN PARALELO	AC_p	2	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			
CAPACIDAD MÁXIMA DEL ACUMULADOR	$C_{máx}$	2050	A.h
TIEMPO DE USO DIARIO	t_d	2,410	h
TIEMPO DE AUTONOMÍA	t_a	10,330	h

Fuente: Elaborado a partir de las EE.TT de la batería Classic EnerSol T1000.

Dimensionamiento del generador fotovoltaico:

Tabla 70: Dimensionamiento del sistema de generación, comunidad Perla del Imaza.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
ENERGÍA TOTAL DE LA INSTALACIÓN	E_t	20 212,089	W.h/día
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO MFV	CR_{MFV}	0.90	unidad
HORAS SOLAR PICO	H.S.P	3,440	h
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	P_G	6 528,453	Wp

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del módulo fotovoltaico:

Tabla 71: Elección del MFV y características del sistema, comunidad Perla del Imaza.

ELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA			
DATOS DEL PANEL ELEGIDO			
MARCA		BAUER Energy	
MODELO		PANEL SOLAR 330W	
TENSIÓN NOMINAL	V_{MFV}	24	V
POTENCIA MÁXIMA	$P_{m\acute{a}x}$	330	Wp
INTENSIDAD EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	I_{ppm}	8,700	A
TENSIÓN EN EL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA	V_{ppm}	37,950	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO	I_{SC}	9,300	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO	V_{OC}	45,750	V
NÚMERO DE CÉLULAS	#	72	unidad
EFICIENCIA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	n	17	%
ANCHO	a	992	mm
ALTO	h	1 956	mm
DISPOSICIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO			
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS TOTAL	MFV_t	20,00	unidad
NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN SERIE	MFV_s	2,00	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN PARALELO	MFV_p	10,00	unidad
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN			
INTENSIDAD EN EL PPM DEL GENERADOR	$I_{G ppm}$	87,000	A
TENSIÓN EN EL PPM DEL GENERADOR	$V_{G ppm}$	75,900	V
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G SC}$	93,000	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G OC}$	91,500	V
POTENCIA MÁXIMA DEL GENERADOR	$P_{Gm\acute{a}x}$	6 600,000	Wp

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del módulo fotovoltaico BAUBER 330Wp.

Dimensionamiento del inversor de corriente, más regulador MPPT:

Tabla 72: Dimensionamiento del Inversor-regulador MPPT, comunidad Perla del Imaza.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN + INVERSIÓN			
INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR	$I_{G SC}$	93,000	A
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO DEL GENERADOR	$V_{G OC}$	91,500	V
TENSIÓN DEL SISTEMA	V	48	V
INTENSIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA DE REGULACIÓN	$I_{R m\acute{a}x}$	116,250	A
CONSUMO DE PONCIA A LA CARGA	P_1	6781,571	W

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Elección del inversor con regulador MPPT:

Tabla 73: Elección del inversor-regulador MPPT, comunidad Perla del Imaza.

ELECCIÓN DEL INVERSOR-CONTROLADOR DE CARGA MPPT			
DATOS DEL INVERSOR ELEGIDO			
MARCA		MUST SOLAR	
MODELO		5000W 48V MPPT	
POTENCIA DEL INVERSOR	P_I	5000	W
POTENCIA DEL INVERSOR	P_I	5000	VA
PICO DE POTENCIA	$P_{I\text{ pico}}$	10000	VA
TIPO DE ONDA		SINOIDAL PURA	
TENSIÓN DE ENTRADA	$V_{INV\ CC}$	48	V
TENSIÓN DE SALIDA	$V_{INV\ AC}$	230	V
EFICIENCIA DEL INVERSOR		93	%
CARGADOR SOLAR MPPT			
VOLTAJE MÁXIMO DE CIRCUITO ABIERTO	$V_{R\ OC}$	145	V
RANGO DE VOLTAJE MPPT		64-130	V
POTENCIA DE ENTRADA FV	$P_{R\ máx}$	4000	W
CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA	$I_{máx}$	80	A
CONSUMO STAND BY		30	W
DISPOSICIÓN DEL(LOS) INVERSOR(S)			
NÚMERO DE INVERSORES TOTAL	INV_t	2	unidad
NÚMERO DE INVERSORES EN PARALELO	INV_p	2	unidad
NÚMERO DE RAMAS DE MFV POR REGULAR	R_{MFV_p}	5	unidad

Fuente: Elaborado a partir de EE.TT del inversor MPPT MUST 5000W 48V.

5.3.2. Redes secundarias

Con la finalidad de distribuir la energía eléctrica a cada uno de los usuarios en las comunidades: El Verde, San José y Perla del Imaza, es necesario dimensionar la red de distribución secundaria, para lo cual se consideró la Norma DGE: “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”, aprobada mediante R.D 031-2003-EM.

5.3.2.1. Cálculos eléctricos

5.3.2.1.1. Capacidad de corriente

El sistema de distribución que se propone para cada una de las tres comunidades es monofásico en 220 V corriente alterna, se ha considerado conductor 2x16/25 para aquellos tramos con alumbrado público y en los vanos que no existe alumbrado público 1x16/25.

Con la finalidad de verificar que el conductor eléctrico cumple con los requerimientos, se ha calculado la corriente eléctrica a la salida de cada inversor.

El conductor propuesto tiene una capacidad de corriente eléctrica de 64 A (Tabla 74).

Tabla 74: Verificación del conductor propuesto por capacidad de corriente eléctrica.

Comunidad	Potencia del inversor (W)	Corriente eléctrica de salida del inversor (A)	Capacidad de corriente eléctrica del conductor autoportante (A)
El Verde	4 000	21,39	64
San José	5 000	26,74	64
Perla del Imaza	5 000	26,74	64

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Es claramente observable en la Tabla 74, que la capacidad de corriente del conductor eléctrico propuesto es superior a la corriente eléctrica máxima a la salida de los inversores.

5.3.2.1.2. Caída de tensión

El siguiente criterio según la norma (R.D 031-2003-EM) para la red de distribución rural, la caída máxima de tensión entre el generador fotovoltaico y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal. Sistema 220 V: máxima caída de tensión 15,4 V.

A continuación, se muestran los diagramas de carga de cada una de las comunidades y luego sus respectivas caídas de tensión.

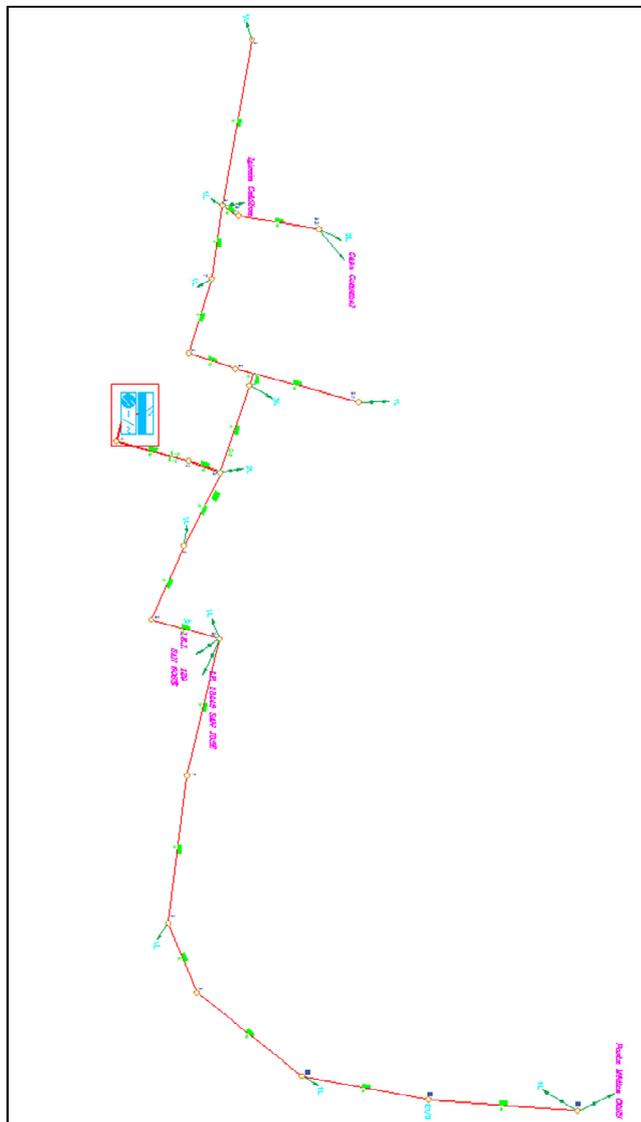


Figura 54: Diagrama de carga de la comunidad San José.
Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Tabla 75: Caída de tensión comunidad San José C-I.

Punto	N° Lotes	Servicio Particular			Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	D V	S D V	%	
		Carga	CORRIENTE	POT.							$\sum I$
		Especial	[A]	[W]	[A]	[m]	[mm ²]	[V/A-km]	[V]	[V]	D V
1			0,0	0,0	12,4	20,00	1X16+1X16/25	3,272	0,81	0,81	0,37%
2			0,0	0,0	12,4	26,85	1x16+N25	3,272	1,08	1,89	0,86%
3	2		1,2	274,0	12,4	10,98	1x16+N25	3,272	0,44	2,34	1,06%
4	3		1,9	411,0	11,1	29,70	1x16+N25	3,272	1,08	3,42	1,55%
5			0,0	0,0	9,2	29,25	1x16+N25	3,272	0,88	4,30	1,95%
6	1	2	6,4	1 411,0	9,2	25,25	1x16+N25	3,272	0,76	5,06	2,30%
7			0,0	0,0	2,8	52,05	1x16+N25	3,272	0,48	5,54	2,52%
8	1		0,6	137,0	2,8	56,14	1x16+N25	3,272	0,52	6,06	2,76%
9			0,0	0,0	2,2	26,86	1x16+N25	3,272	0,19	6,26	2,84%
10	1		0,6	137,0	2,2	49,68	1x16+N25	3,272	0,36	6,61	3,01%
11			0,0	0,0	1,6	43,71	1x16+N25	3,272	0,23	6,84	3,11%
12	1	1	1,6	347,0	1,6	55,22	1x16+N25	3,272	0,28	7,12	3,24%
			3,24%	<	7%	ok					

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Tabla 76: Caída de tensión comunidad San José C-II.

Punto	N° Lotes	Servicio Particular			Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	D V	S D V	%	
		Carga	CORRIENTE	POT.							$\sum I$
		Especial	[A]	[W]	[A]	[m]	[mm ²]	[V/A-km]	[V]	[V]	D V
1			0,0	0,0	8,4	20,00	1X16+1X16/25	3,272	0,55	0,55	0,25%
2			0,0	0,0	8,4	26,85	1x16+N25	3,272	0,74	1,28	0,58%
3			0,0	0,0	8,4	10,98	1x16+N25	3,272	0,30	1,59	0,72%
4	3		1,9	411,0	8,4	33,39	1x16+N25	3,272	0,92	2,50	1,14%
5			0,0	0,0	6,5	10,00	1x16+N25	3,272	0,21	2,71	1,23%
6			0,0	0,0	5,9	16,97	1x16+N25	3,272	0,33	3,04	1,38%
7	1		0,6	137,0	5,9	28,00	1x16+N25	3,272	0,54	3,58	1,63%
8	1	1	1,9	410,0	5,3	28,62	1x16+N25	3,272	0,49	4,07	1,85%
9	1		0,6	137,0	0,6	63,49	1x16+N25	3,272	0,13	4,20	1,91%
5.1	1		0,6	137,0	0,6	46,76	1x16+N25	3,272	0,10	2,81	1,28%
8.1			0,0	0,0	2,8	5,31	1x16+N25	3,272	0,05	4,12	1,87%
8.2	2	1	2,8	611,0	2,8	29,40	1x16+N25	3,272	0,27	4,39	1,99%
			1,99%	<	7%	ok					

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Tabla 77: Caída de tensión comunidad Perla del Imaza C-I.

Punto	N° Lotes	Servicio Particular			Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	D V	S D V	%	
		Carga	CORRIENTE	POT.							$\sum I$
		Especial	[A]	[W]	[A]	[m]	[mm ²]	[V/A-km]	[V]	[V]	D V
1			0,0	0,0	16,0	20,00	1X16+1X16/25	3,272	1,05	1,05	0,48%
2			0,0	0,0	16,0	34,73	1x16+N25	3,272	1,82	2,87	1,30%
3			0,0	0,0	16,0	50,00	1x16+N25	3,272	2,62	5,48	2,49%
4	2	1	5,5	1 209,0	16,0	24,04	1x16+N25	3,272	1,26	6,74	3,07%
5			0,0	0,0	10,5	70,00	1x16+N25	3,272	2,41	9,15	4,16%
6	2		1,2	274,0	8,6	50,00	1x16+N25	3,272	1,41	10,56	4,80%
7	1		0,6	137,0	3,1	50,00	1x16+N25	3,272	0,51	11,07	5,03%
8	2		1,2	274,0	2,5	21,81	1x16+N25	3,272	0,18	11,25	5,11%
9	2		1,2	274,0	1,2	32,60	1x16+N25	3,272	0,13	11,38	5,17%
5.1			0,0	0,0	1,9	12,79	1x16+N25	3,272	0,08	9,23	4,19%
5.2	3		1,9	411,0	1,9	30,04	1x16+N25	3,272	0,18	9,41	4,28%
6.1	1	1	1,8	394,0	4,3	15,00	1x16+N25	3,272	0,21	10,77	4,90%
6.2	4		2,5	548,0	2,5	45,00	1x16+N25	3,272	0,37	11,14	5,06%
			5,17%	<	7%	ok					

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Tabla 78: Caída de tensión comunidad Perla del Imaza C-II.

Punto	N° Lotes	Servicio Particular			Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	D V	S D V	%	
		Carga	CORRIENTE	POT.							$\sum I$
		Especial	[A]	[W]	[A]	[m]	[mm ²]	[V/A-km]	[V]	[V]	D V
1			0,0	0,0	12,7	20,00	1X16+1X16/25	3,272	0,83	0,83	0,38%
2	4	1	3,7	805,0	12,7	34,73	1x16+N25	3,272	1,44	2,27	1,03%
3	3	1	2,8	621,0	7,1	40,00	1x16+N25	3,272	0,93	3,20	1,46%
4	2		1,2	274,0	4,3	50,00	1x16+N25	3,272	0,71	3,91	1,78%
5			0,0	0,0	3,1	30,00	1x16+N25	3,272	0,30	4,21	1,91%
6			0,0	0,0	1,5	68,00	1x16+N25	3,272	0,34	4,55	2,07%
7		1	1,5	339,0	1,5	60,00	1x16+N25	3,272	0,30	4,86	2,21%
2.1	3		1,9	411,0	1,9	40,00	1x16+N25	3,272	0,24	2,51	1,14%
5.1		1	1,5	337,0	1,5	34,31	1x16+N25	3,272	0,17	4,38	1,99%
			2,21%	<	7%	ok					

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

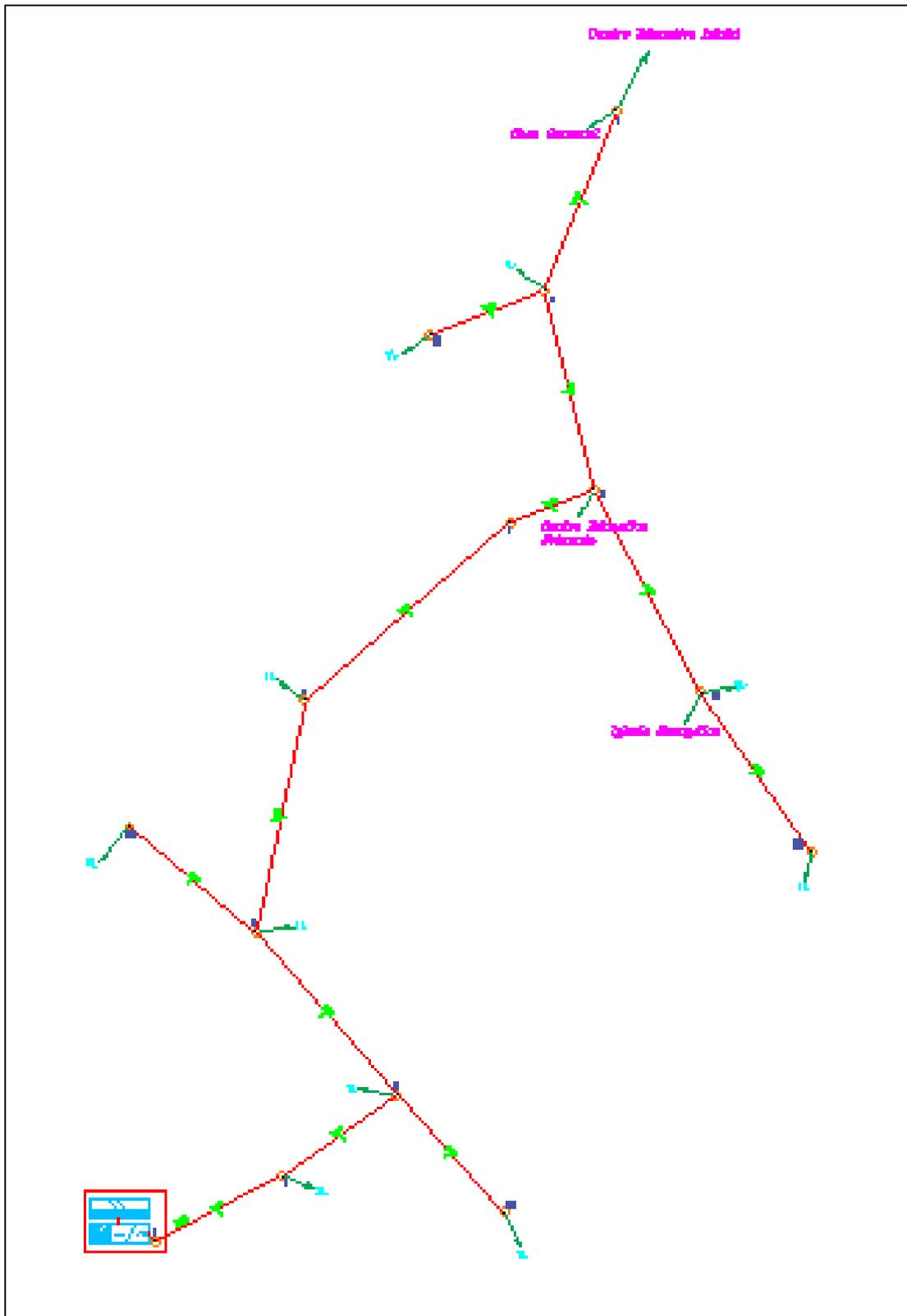


Figura 56: Diagrama de carga de la comunidad El Verde.

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Tabla 79: Caída de tensión comunidad El Verde C-I.

Punto	N° Lotes	Servicio Particular			Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	D V	S D V	%	
		Carga	CORRIENTE	POT.							$\sum I$
		Especial	[A]	[W]	[A]	[m]	[mm²]	[V/A-km]	[V]	[V]	D V
1			0,0	0,0	15,3	20,00	1X16+1X16/25	3,272	1,00	1,00	0,46%
2	2		1,2	258,0	15,3	35,00	1x16+N25	3,272	1,75	2,76	1,25%
3	1		0,6	129,0	14,1	34,41	1x16+N25	3,272	1,59	4,35	1,98%
4	1		0,6	129,0	13,0	52,77	1x16+N25	3,272	2,24	6,58	2,99%
5	1		0,6	129,0	9,4	58,34	1x16+N25	3,272	1,80	8,39	3,81%
6			0,0	0,0	8,9	66,38	1x16+N25	3,272	1,92	10,31	4,69%
7		1	2,0	445,0	8,9	22,10	1x16+N25	3,272	0,64	10,95	4,98%
8	1		0,6	129,0	3,9	50,45	1x16+N25	3,272	0,65	11,60	5,27%
9		2	2,7	602,0	2,7	47,56	1x16+N25	3,272	0,43	12,02	5,47%
3.1	1		0,6	129,0	0,6	38,95	1x16+N25	3,272	0,07	4,42	2,01%
4.1	5		2,9	645,0	2,9	40,43	1x16+N25	3,272	0,39	6,97	3,17%
7.1	2	1	2,3	515,0	2,9	56,36	1x16+N25	3,272	0,54	11,49	5,22%
7.2	1		0,6	129,0	0,6	47,43	1x16+N25	3,272	0,09	11,58	5,27%
8.1	1		0,6	129,0	0,6	29,80	1x16+N25	3,272	0,06	11,64	5,29%
			5,47%	<	7%	ok					

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Como se aprecia en las Tablas 75 a 79, la caída de tensión para cada una de las redes secundarias de las tres comunidades no supera el 7 %, por tanto, el conductor propuesto cumple con los requerimientos eléctricos.

5.3.2.2. Cálculos mecánicos

Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno.

Tabla 80: Distancia mínimas del conductor a la superficie del terreno.

Disposición	Carreteras y avenidas	Calles y caminos	Áreas no transitables por vehículos	Calles y caminos en zonas rurales
Al cruce	6,5	5,5	4,0	5,5
A lo largo	5,5	5,0	4,0	4,5

Fuente: Código Nacional de Electricidad.

Parámetros eléctricos de cables autoportantes

Tabla 81: Parámetros eléctricos de cables autoportantes.

FORMACIÓ N	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE FASE (O/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE ALUMBRADO (O/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR NEUTRO (O/Km)		REACTANCIA INDUCTIVA (O/Km)		FACTOR DE CAÍDA DE TENSIÓN			CAPACIDAD DE CORRIENTE A 40 °C (A)		
	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	XL(30)	XL (10)	K (380-220 V)	K(440-220 V)	K(220 VAP)	Cond. Fase	Cond. A.P.	
	3x35+16/25	0,868	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,094	0,123	1,607	-	3,272	102	64
	3x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,100	0,116	2,223	-	3,272	83	64
3x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,110	0,110	3,538	-	3,272	64	64	
3x35/25	0,868	0,929	-	-	1,38	1,478	0,091	-	1,607	-	-	102	-	
3x25/25	1,200	1,285	-	-	1,38	1,478	0,095	-	2,223	-	-	83	-	
3x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	0,103	-	3,538	-	-	64	-	
2x35+16/25	0,868	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,086	0,114	-	3,780	3,272	102	64	
2x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,093	0,109	-	3,776	3,272	83	64	
2x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,096	0,096	3,538	3,765	3,272	64	64	
2x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,096	-	3,765	3,272	64	-	
1x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,094	-	-	3,272	64	-	

Fuente: R.D 031-2003 EM.⁸²

Hipótesis de estado

De los datos de los factores meteorológicos se establecen los valores de:

- Velocidad del viento.
- Temperatura.

Con respecto a la temperatura, se tiene que la temperatura mínima promedio es de 13,6 °C, para el cálculo consideraremos 5 °C; la temperatura máxima es de 36,6 °C, para el cálculo consideraremos 40 °C; la temperatura promedio anual es de 15 °C.⁸³

⁸² Norma DGE: "Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural", diciembre 2003.

⁸³ "Clima Bongará", Climate-Data.org, acceso 28 de enero de 2019, <https://es.climate-data.org/africa/nigeria/adamawa/bongara-378597/>.

Para efectuar los cálculos mecánicos del conductor es necesario determinar las condiciones meteorológicas (temperatura, velocidad del viento) tal como se observa en la Tabla 82.

Tabla 82: Hipótesis para usar la ecuación de TRUXA.

HIPÓTESIS N° 1: Condición de máximo esfuerzo.	Temperatura: 5°C. Velocidad de viento: 70 Km/h.
HIPÓTESIS N° 2: Condición de mayor duración (EDS)	Temperatura: Media anual :15° C. Velocidad de viento: Nula.
HIPÓTESIS N°3: Condición de flecha máxima.	Temperatura: 40°C. Velocidad de viento: Nula.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos.

Esfuerzos mecánicos en el conductor

De acuerdo con la Norma DGE: “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”, diciembre 2003. Se establece lo siguiente:

- a) El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos de 52,3 N/mm², aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.
- b) El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm².
- c) Cuando, debido a la presencia de hielo, los esfuerzos en el conductor portante sobrepasarán lo máximo establecido, el consultor podrá adoptar un esfuerzo EDS menor a 52,3 N/mm².

Cálculo del vano básico

De lo planos de las redes secundarias de las comunidades, el vano con mayor longitud es de 70 metros, por lo que para los cálculos mecánicos del conductor se considerará esta longitud como el vano básico.

Tabla 83: Tabla de cálculos mecánicos.

Vano (m)		30	40	50	60	70
HIP.I	σ (kg/mm ²)	7,81	8,23	8,61	8,95	9,24
	f (m)	0,30	0,51	0,51	1,06	1,39
HIP.II	σ (kg/mm ²)	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
	f (m)	0,21	0,37	0,57	0,82	1,12
HIP.III	σ (kg/mm ²)	3,24	3,60	3,90	4,13	4,32
	f (m)	0,35	0,55	0,80	1,09	1,41

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

Cálculo de la altura del poste

La distancia mínima con respecto al suelo se considera de 5,0 metros. La distancia del vértice del poste al inicio del gancho de suspensión será de 0,30 metros. Mientras que la altura de empotramiento será la décima parte de la longitud del poste, más 0,2 metros.

La altura necesaria del poste estará dada por:

$$H = \frac{H}{2} + 0,2 + D_{\text{mín}} + F_{\text{máx}} + H_c \dots \dots \dots (39)$$

Donde:

- H : Altura del poste en metros.
- D_{mín} : Distancia mínima al terreno en metros (5 m).
- F_{máx} : Flecha máxima en metros (1,41 m).
- H_c : Distancia de la punta del poste al conductor más bajo (0,3 m).

Considerando postes de 8 metros, se obtiene que $H = 7,68$ m. Por tanto, queda justificado el uso de postes de concreto armado de 8 metros.

Tabla 84: Características de los cables autoportantes.

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm ²)	DIAM. EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST. DEL PORTANTE (kN/mm ²)	COEFICIEN. DE DILAT. TERMICA (1/°C)
3x35+16/25	25	20,0	0,481	60,82	21x10-6
3x25+16/25	25	18,5	0,397	60,82	21x10-6
3x16+16/25	25	16,5	0,310	60,82	21x10-6
3x35/25	25	20,0	0,419	60,82	21x10-6
3x25/25	25	18,5	0,336	60,82	21x10-6
3x16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x35+16/25	25	20,0	0,362	60,82	21x10-6
2x25+16/25	25	18,5	0,307	60,82	21x10-6
2x16+16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x16/25	25	16,5	0,187	60,82	21x10-6
1x16/25	25	16,5	0,125	60,82	21x10-6

Fuente: Fuente: R.D 031-2003 EM.⁸⁴

5.4. Determinación del presupuesto referencial

5.4.1. Sistema fotovoltaico

Para la determinación del presupuesto referencial de los equipos de los sistemas fotovoltaicas, consideramos los precios incluido IGV y en la moneda nacional del Perú, no apoyamos en ese sentido en los precios publicados por la empresa Autosolar Energía del Perú S.A.C en su página web www.autosolar.pe. Los links directos hacia los equipos escogidos se encuentran mencionados en el Capítulo IV de esta investigación.

⁸⁴ Norma DGE: "Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural", diciembre 2003.

5.4.1.1. Comunidad La Jalca

Tabla 85: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad La Jalca.

PRESUPUESTO REFERENCIAL EQUIPOS DEL SFV, COMUNIDAD LA JALCA			
DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1 MÓDULO FOTOVOLTAICO	1	S/. 304,70	S/. 304,70
Marca: ERA Solar, 36 células, tipo policristalino 156 x 156 mm, 150 Wp, 12 V, eficiencia del 15%			
2 REGULADOR PWM	1	S/. 116,48	S/. 116,48
Marca: MUST Solar, modelo: PC 1500B-10, algoritmo de carga PWM en 4 etapas, intensidad nominal 10 A, voltaje fotovoltaico hasta 50 V			
3 BATERIA DE CICLO PROFUNDO	1	S/. 661,43	S/. 661,43
Marca: U-power, modelo: SPO165, Capacidad C100-165 A.H, voltaje nominal 12 V, >400 ciclos a 75% D.O.D.			
4 INVERSOR CC/CA	1	S/. 368,96	S/. 368,96
Marca: Victron energy, modelo: Phoenix 12/250, 200 W a 25 °C, potencia poco 400 W, tensión de entrada continua 12 V, tensión de salida alterna 230 V, eficiencia 87%.			
5 ESTRUCTURA COLUMNA 1 PANEL SOLAR	1	S/. 766,28	S/. 766,28
6 PRESUPUESTO REFERENCIAL POR VIVIENDA			S/. 2 517,85
7 NÚMERO DE VIVIENDAS	8		
8 PRESUPUESTO REFERENCIA SUMINISTRO DE EQUIPOS			S/. 17 742,80

Fuente: Autosolar Energía del Perú S.A.C.

Tabla 86: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico La Jalca.

VALOR REFERENCIAL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMUNIDAD LA JALCA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 17 742,80
2	MONTAJE ELECTROMECÁNICO (30 %)	S/. 5 322,84
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (6 %)	S/. 1 064,57
4	COSTO DIRECTO	S/. 24 130,21
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 2 413,02
	UTILIDADES (10 %)	S/. 2 413,02

VALOR REFERENCIAL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMUNIDAD LA JALCA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 28 956,25
7	I.G.V. (S/.)	S/. 5 212,13
8	CAPACITACIÓN	S/. 2 500,00
9	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 36 668,38

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.1.2. Comunidad El Verde

Tabla 87: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad El Verde.

PRESUPUESTO REFERENCIAL EQUIPOS DEL SFV, COMUNIDAD EL VERDE			
DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1 MÓDULO FOTOVOLTAICO	12	S/. 664,38	S/. 7 972,56
Marca: ERA Solar, modelo: ESPMC, 72 células, tipo policristalino, 300 Wp, 24 V, eficiencia del 15,5 %.			
2 BATERIA DE CICLO PROFUNDO x8vasos	2	S/. 12 010,40	S/. 24 020,80
Marca: Ultracell, modelo: UZ600-6, Capacidad C120-600 A.H, voltaje nominal 6 V, eficiencia a 25 °C al 100%, 0 °C al 85 %			
3 INVERSOR + REGULADOR MPPT	1	S/. 3 671,11	S/. 3 671,11
Marca: MUST Solar, modelo: PV 18-5048 HM, 48 VDC, potencia 4000W, potencia pico 10 000 VA, eficiencia 93%, tensión de salida alterna 220 V. Regulador: eficiencia 98%, voltaje máximo FV de circuito abierto 145 VDC, potencia máxima FV 4000 W, 80 A.			
4 ESTRUCTURA ELEVADA 3M 2x6	1	S/. 6 357,14	S/. 6 357,14
5 PRESUPUESTO REFERENCIAL SUMINISTRO DE EQUIPOS			S/. 42 021,61

Fuente: Autosolar Energía del Perú S.A.C.

Tabla 88: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico El Verde.

VALOR REFERENCIAL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMUNIDAD EL VERDE		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 42 021,61
2	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO (30 %)	S/. 12 606,48
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (6 %)	S/. 2 521,30
4	COSTO DIRECTO	S/. 57 149,39
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 5 714,94
	UTILIDADES (10 %)	S/. 5 714,94
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 68 579,27
7	I.G.V. (S/.)	S/. 12 344,27
8	CAPACITACIÓN	S/. 2 500,00
9	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 80 923,54

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.1.3. Comunidad San José

Tabla 89: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad San José.

PRESUPUESTO REFERENCIAL EQUIPOS DEL SFV, COMUNIDAD SAN JOSÉ				
DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	
1 MÓDULO FOTOVOLTAICO	12	S/. 664,38	S/. 7 972,56	
Marca: ERA Solar, modelo: ESPMC, 72 células, tipo policristalino, 325 Wp, 24 V, eficiencia del 16,8 %.				
2 BATERIA DE CICLO PROFUNDO	48	S/. 976,67	S/. 46 880,16	
Marca: Ultracell, modelo: UCG 690-2, Capacidad C100-690 A.H, voltaje nominal 2 V, eficiencia a 25 °C al 100%, 0 °C al 86 %				
3 INVERSOR + REGULADOR MPPT	1	S/. 3 888,89	S/. 3 888,89	
Marca: MUST Solar, modelo: 5000W 48V MPPT, 48 VDC, potencia 5000W, potencia pico 10 000 W, eficiencia 93%, tensión de salida alterna 230 V. Regulador: voltaje máximo FV de circuito abierto 145 VDC, potencia máxima FV 4000 W, 80 A.				
4 ESTRUCTURA ELEVADA 3M 2x6	1	S/. 6 357,14	S/. 6 357,14	
5 PRESUPUESTO REFERENCIAL SUMINISTRO DE EQUIPOS			S/. 65 098,75	

Fuente: Autosolar Energía del Perú S.A.C.

Tabla 90: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico San José.

VALOR REFERENCIAL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMUNIDAD SAN JOSÉ		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 65 098,75
2	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO (30 %)	S/. 19 529,63
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (6 %)	S/. 3 905,93
4	COSTO DIRECTO	S/. 88 534,30
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 8 853,43
	UTILIDADES (10 %)	S/. 8 853,43
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 106 241,16
7	I.G.V. (S/.)	S/. 19 123,41
8	CAPACITACIÓN	S/. 2 500,00
9	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 125 364,47

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.1.4. Comunidad Perla del Imaza

Tabla 91: Presupuesto referencial equipos SFV, comunidad Perla del Imaza.

PRESUPUESTO REFERENCIAL EQUIPOS DEL SFV, COMUNIDAD PERLA DEL IMAZA			
DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1 MÓDULO FOTOVOLTAICO	20	S/. 650,00	S/. 13 000,00
Marca: BAUER energy, 72 células (156 x 156 mm), tipo policristalino, 330 Wp, 24 V, eficiencia del 17 %.			
2 BATERIA DE CICLO PROFUNDO x6 vasos	8	S/. 5 612,21	S/. 44 897,68
Marca: Classic, modelo: EnerSol T1000, Capacidad C120-1050 A.H, voltaje nominal 2 V.			
3 INVERSOR + REGULADOR MPPT	2	S/. 3 888,89	S/. 7 777,78
Marca: MUST Solar, modelo: 5000W 48V MPPT, 48 VDC, potencia 5000W, potencia pico 10 000 W, eficiencia 93%, tensión de salida alterna 230 V. Regulador: voltaje máximo FV de circuito abierto 145 VDC, potencia máxima FV 4000 W, 80 A.			
4 KIT CONEXIÓN PARALELO INVERSORES MUST	2	S/. 140,49	S/. 280,98
5 ESTRUCTURA ELEVADA 3M 2x5	2	S/. 4 392,86	S/. 8 785,72
6 PRESUPUESTO REFERENCIAL SUMINISTRO DE EQUIPOS			S/. 74 742,16

Fuente: Autosolar Energía del Perú S.A.C.

Tabla 92: Presupuesto referencial sistema fotovoltaico Perla del Imaza.

VALOR REFERENCIAL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMUNIDAD PERLA DEL IMAZA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 74 742,16
2	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO (30 %)	S/. 22 422,65
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (6 %)	S/. 4 484,53
4	COSTO DIRECTO	S/. 101 649,34
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 10 164,93
	UTILIDADES (10 %)	S/. 10 164,93
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 121 979,21
7	I.G.V. (S/.)	S/. 21 979,26
8	CAPACITACIÓN	S/. 2 500,00
9	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 143 935,46

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.2. Redes secundarias

5.4.2.1. Comunidad El Verde

Tabla 93: Presupuesto referencial suministro de materiales RS, comunidad El Verde.

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS- EL VERDE					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado	Costo	TOTAL
			Total Cantidad	Unitario S/.	
1,00	<u>POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO</u>				
1,01	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	11,00	645,75	7.103,25
1,02	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	3,00	410,00	1.230,00
	SUB-TOTAL 1:				8.333,25
2,00	<u>CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO</u>				
2,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	0,02	4000,00	88,00
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X25/25	Km	0,69	6000,00	4.158,00
	SUB-TOTAL 2:				4.246,00
3,00	<u>ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES</u>				
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	6,00	13,00	78,00
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	14,00	15,00	210,00
3,03	CONECTOR BIMETÁLICO , PARA Al 25mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u		5,57	
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 35mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS- EL VERDE					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado	Costo	TOTAL
			Total	Unitario	
			Cantidad		
3,05	CONECTOR, PARA AI 25mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	4,00	6,70	26,80
3,06	CONECTOR AISLADO, PARA AI 35mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	62,00	0,35	21,70
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	12,00	3,05	36,60
3,09	CINTA AISLANTE	rl	100,00	3,60	360,00
-	SUB-TOTAL 3:				733,10
4,00	<u>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE</u>	-			
4,01	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BIPOLAR, 2x10 mm ² , CUBIERTA NEGRA	m		11,76	
4,02	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm ² , CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	450,00	4,90	2.205,00
4,03	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm ²	m	54,00	6,60	356,40
-	SUB-TOTAL 4:				2.561,40
5,00	<u>LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS</u>				
5,01	PASTORAL TUBO A°G° 38 mm f, INT.; 500mm AVANCE HORIZ.; 720 mm ALTURA, Y 20° INCLINACION, PROVISTO DE 2 ABRAZADERAS DOBLES PARA POSTE DE CAC	u	1,00	90,00	90,00
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	1,00	196,00	196,00
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	1,00	35,00	35,00
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	1,00	25,00	25,00
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 35 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	1,00	10,50	10,50
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	1,00	5,92	5,92
-	SUB-TOTAL 5:				362,42
6,00	<u>RETENIDAS Y ANCLAJES</u>	-			
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	130,00	4,20	546,00
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	78,00	9,50	741,00
6,04	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 2.40 m, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN EL OTRO	u	13,00	35,00	455,00
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	13,00	5,00	65,00
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	26,00	9,00	234,00
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	26,00	2,00	52,00
6,08	SOPORTE DE CONTRAPUNTA DE 51 mmøx1000mm DE LONG. CON ABRAZADERA PARTIDA EN UN EXTREMO	u		70,00	
6,09	ALAMBRE DE ACERO N° 12; PARA ENTORCHADO	m	39,00	1,00	39,00
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	13,00	28,00	364,00
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 25 mm ² Y COBRE DE 16mm ² , TIPO CUÑA	u	13,00	6,70	87,10
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm ²	u	13,00	5,92	76,96

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS- EL VERDE					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado		TOTAL
			Total	Costo	
			Cantidad	Unitario	S/.
SUB-TOTAL 6:					2.660,06
7,00	<u>ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS</u>				
7,01	PERNO CON GANCHO DE 16mm Ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,80	
7,02	PERNO CON GANCHO DE 16mm Ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	6,00	10,80	64,80
7,03	PERNO DE A°G° DE 13mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		7,70	
7,04	PERNO DE A°G° DE 13mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	14,00	8,20	114,80
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,30	
7,06	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	12,00	11,20	134,40
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmØ	u	2,00	8,30	16,60
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u		6,58	
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmØ	u	30,00	2,00	60,00
7,11	CAJA DE DERIVACION PARA ACOMETIDAS, SISTEMA 220 V (10 BORNERAS EN CADA BARRA DE Cu)	u		185,00	
7,12	PORTALINEA UNIPOLAR DE A°G°, PROVISTO DE PIN DE 10 mm Ø	u	28,00	4,28	119,84
SUB-TOTAL 7:					510,44
8,00	<u>PUESTA A TIERRA</u>				
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	6,00	43,00	258,00
8,02	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	6,00	7,20	43,20
8,03	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	6,00	6,50	39,00
SUB-TOTAL 8:					340,20
9,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>				
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	10,00	33,49	334,90
9,06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm f x 64mm DE LONGITUD	u	20,00	1,20	24,00
9,07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	20,00	0,66	13,20
9,08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	80,00	1,00	80,00
9,09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	20,00	10,50	210,00
9,10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	20,00	4,30	86,00
9,11	TEMPLADOR DE A°G°	u	40,00	2,10	84,00
9,12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	20,00	76,66	1 533,20
9,13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE 1.	u	20,00	90,00	1.800,00
SUB-TOTAL 9:					4.165,30
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES				S/.	23 912,17

Fuente: Elaborado a partir de los costos y metrado.

Tabla 94: Presupuesto referencial montaje de materiales RS, comunidad El Verde.

VALOR REFERENCIAL				
MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS-EL VERDE				
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA LA TESIS "IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN COMUNIDADES AISLADAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS CONVENSIONALES, EN LA PROVINCIA DE BONGARA - REGIÓN AMAZONAS"				
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO				
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	METRAO TOTAL	PRECIO UNIT. TOTAL
1.00	MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES			
	COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE :			
1.01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 3X16+16/25 mm2	km	0,0	0,00
1.02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X16/25 mm2	km	0,02	606,89
1.03	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm2	km	0,69	510,25
				353,60
				SUB-TOTAL 1:
				366,95
2.00	INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA			
2.01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (ardiloso y/o conglomerado)	m ³	9,2	31,62
2.02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m ³	0,0	112,44
2.03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	6,0	18,19
2.04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m ³	12,0	45,57
				547,30
				SUB-TOTAL 2:
				948,61
3.00	PASTORALES LUMINARIAS Y LAMPARAS			
3.01	INSTALACION DE PASTORAL DE A° G°	u	1,0	19,63
3.02	INSTALACION DE LUMINARIA Y LAMPARA	u	1,0	34,58
				54,21
				SUB-TOTAL 3:
				54,21
4.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS			
	INSTALACION DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE COMPRENDE :			
	CONEXION DE ACOMETIDA			
	DOMICILIARIAS, MONTAIE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.			
4.01	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDIDOR)	u	10,0	35,26
4.02	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDIDOR)	u	10,0	42,67
4.03	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	20,0	11,09
4.04	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFASICO DE ENERGIA ACTIVA - ELECTRONICO	u	20,0	20,00
				400,00
				SUB-TOTAL 4:
				1.401,10
5.00	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:			
5.01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1,0	452,97
5.02	EXPEDIENTE TECNICO FINALES CONFORME A OBRA (1 ORIGINAL + 3 COPIAS) DE REDES SECUNDARIAS, INCLUYE LA PRESENTACION DIGITALIZADA DE L EXPEDIENTE EN UN CD	Glb	1,0	150,00
				602,97
				SUB-TOTAL 5:
				9.716,68
	TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO			S/.

Fuente: Elaborado a partir de los costos y metrado.

Tabla 95: Presupuesto referencial red secundaria El Verde.

VALOR REFERENCIAL RED SECUNDARIA COMUNIDAD EL VERDE		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 23 912,17
2	MONTAJE ELECTROMECHANICO	S/. 9 716,68
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (9 %)	S/. 2 152,10
4	COSTO DIRECTO	S/. 35 780,95
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 3 578,10
	UTILIDADES (10 %)	S/. 3 578,10
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 42 937,15
7	I.G.V. (18 %)	S/. 8 158,26
8	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 51 095,21

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.2.2. Comunidad San José

Tabla 96: Presupuesto referencial suministro de materiales RS, comunidad San José.

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS – SAN JOSÉ					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado Total Cantidad	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
1,00	<u>POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO</u>				
1,01	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	16,00	645,75	10.332,00
1,02	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	6,00	410,00	2.460,00
SUB-TOTAL 1:					12.792,00
2,00	<u>CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO</u>				
2,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X16/25	Km	0,02	4000,00	88,00
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	0,80	6000,00	4.829,22
SUB-TOTAL 2:					4.917,22
3,00	<u>ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES</u>				
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	10,00	13,00	130,00
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	25,00	15,00	375,00
3,03	CONECTOR BIMETÁLICO , PARA AI 25mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u		5,57	
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA AI 35mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,05	CONECTOR, PARA AI 25mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	1,00	6,70	6,70
3,06	CONECTOR AISLADO, PARA AI 35mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	107,00	0,35	37,45
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	8,00	3,05	24,40
3,09	CINTA AISLANTE	rl	100,00	3,60	360,00
SUB-TOTAL 3:					933,55
4,00	<u>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE</u>				
4,01	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BIPOLAR, 2x10 mm ² , CUBIERTA NEGRA	m		11,76	
4,02	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm ² , CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	540,00	4,90	2.646,00
4,03	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm ²	m	108,00	6,60	712,80
SUB-TOTAL 4:					3.358,80
5,00	<u>LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS</u>				
5,01	PASTORAL TUBO A°G° 38 mm f, INT.; 500mm AVANCE HORIZ.; 720 mm ALTURA, Y 20° INCLINACION, PROVISTO DE 2 ABRAZADERAS DOBLES PARA POSTE DE CAC	u	1,00	90,00	90,00
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	1,00	196,00	196,00
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	1,00	35,00	35,00
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	1,00	25,00	25,00
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 35 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	1,00	10,50	10,50
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	1,00	5,92	5,92
SUB-TOTAL 5:					362,42

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS – SAN JOSÉ						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado Total	Costo Unitario	TOTAL	
6,00	<u>RETENIDAS Y ANCLAJES</u>					
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	140,00	4,20	588,00	
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	84,00	9,50	798,00	
6,04	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 2.40 m, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN EL OTRO	u	14,00	35,00	490,00	
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	14,00	5,00	70,00	
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	28,00	9,00	252,00	
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	28,00	2,00	56,00	
6,08	SOPORTE DE CONTRAPUNTA DE 51 mmøx1000mm DE LONG. CON ABRAZADERA PARTIDA EN UN EXTREMO	u	5,00	70,00	350,00	
6,09	ALAMBRE DE ACERO N° 12; PARA ENTORCHADO	m	42,00	1,00	42,00	
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	14,00	28,00	392,00	
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	14,00	6,70	93,80	
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm²	u	14,00	5,92	82,88	
SUB-TOTAL 6:					3.214,68	
7,00	<u>ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS</u>					
7,01	PERNO CON GANCHO DE 16mm ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,80		
7,02	PERNO CON GANCHO DE 16mm ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	10,00	10,80	108,00	
7,03	PERNO DE A°G° DE 13mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		7,70		
7,04	PERNO DE A°G° DE 13mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	24,00	8,20	196,80	
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,30		
7,06	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	15,00	11,20	168,00	
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmø	u	10,00	8,30	83,00	
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u		6,58		
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmø	u	40,00	2,00	80,00	
7,10	CAJA DE DERIVACION PARA ACOMETIDAS, SISTEMA 220 V (10 BORNERS EN CADA BARRA DE Cu)	u		185,00		
7,11	PORTALINEA UNIPOLAR DE A°G°, PROVISTO DE PIN DE 10 mm ø	u	48,00	4,28	205,44	
SUB-TOTAL 7:					841,24	
8,00	<u>PUESTA A TIERRA</u>					
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	12,00	43,00	516,00	
8,02	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	12,00	7,20	86,40	
8,03	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	12,00	6,50	78,00	
SUB-TOTAL 8:					680,40	
9,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>					
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	11,50	33,49	385,14	
9,06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm f x 64mm DE LONGITUD	u	23,00	1,20	27,60	
9,07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	23,00	0,66	15,18	
9,08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	92,00	1,00	92,00	

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS – SAN JOSÉ						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado Total	Costo Unitario	TOTAL	
9,09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA AI 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	23,00	10,50	241,50	
9,10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA AI 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	23,00	4,30	98,90	
9,11	TEMPLADOR DE A°G°	u	46,00	2,10	96,60	
9,12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	23,00	76,66	1.763,18	
9,13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE 1.	u	23,00	90,00	2.070,00	
SUB-TOTAL 9:					4.790,10	
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES				S/.	31.890,41	

Fuente: Fuente: Elaborado a partir de los costos y metrado.

Tabla 97: Presupuesto referencial montaje de materiales RS, comunidad San José.

VALOR REFERENCIAL MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS-SAN JOSE B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	TOTAL CANT.	UNIT. S/.	TOTAL S/.
1,00	<u>MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES</u>				
	COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE :				
1,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 3X16+16/25 mm ²	km	0,0		0,00
1,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X16/25 mm ²	km	0,02	606,89	13,35
1,03	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm ²	km	0,80	510,25	410,68
SUB-TOTAL 1:					424,04
2,00	<u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u>				
2,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m ³	18,5	31,62	584,34
2,02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m ³	0,0	112,44	0,00
2,03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	12,0	18,19	218,28
2,04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m ³	24,0	45,57	1.094,59
SUB-TOTAL 2:					1.897,21
3,00	<u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u>				
3,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	1,0	19,63	19,63
3,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	1,0	34,58	34,58
SUB-TOTAL 3:					54,21
4,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>				
	INSTALACIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE COMPRENDE :				
	CONEXIÓN DE ACOMETIDA				
	DOMICILIARIAS, MONTAJE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.				
4,01	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDIDOR)	u	10,0	35,26	352,60
4,02	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDIDOR)	u	13,0	42,67	554,71
4,03	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	23,0	11,09	255,07
4,04	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	23,0	20,00	460,00
SUB-TOTAL 4:					1.622,38

VALOR REFERENCIAL MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS-SAN JOSE B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	TOTAL CANT.	UNIT. S/.	TOTAL S/.
5,00	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:				
5,01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1,0	452,97	452,97
5,02	EXPEDIENTE TECNICO FINALES CONFORME A OBRA (1 ORIGINAL + 3 COPIAS) DE REDES SECUNDARIAS, INCLUYE LA PRESENTACIÓN DIGITALIZADA DE L EXPEDIENTE EN UN CD	Glb	1,0	150,00	150,00
SUB-TOTAL 5:					602,97
TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO				S/.	13.348,68

Fuente: Elaborado a partir de los costos y metrado.

Tabla 98: Presupuesto referencial red secundaria San José.

VALOR REFERENCIAL RED SECUNDARIA COMUNIDAD SAN JOSÉ		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 31.890,41
2	MONTAJE ELECTROMECHANICO	S/. 13 348,68
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (9 %)	S/. 2 870,14
4	COSTO DIRECTO	S/. 48 109,22
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 4 810,92
	UTILIDADES (10 %)	S/. 4 810,92
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 57 731,07
7	I.G.V. (18 %)	S/. 10 968,90
8	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 68 699,97

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.2.3. Comunidad Perla del Imaza

Tabla 99: Presupuesto referencial suministro de materiales RS, comunidad Perla del Imaza.

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS - PERLA DEL IMAZA					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado	Costo	TOTAL S/.
			Total Cantidad	Unitario S/.	
1,00	POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO				
1,01	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	14,00	645,75	9.040,50
1,02	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	6,00	410,00	2.460,00
SUB-TOTAL 1:					11.500,50
2,00	CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO				
2,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	0,02	4000,00	88,00
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X25/25	Km	0,86	6000,00	5.132,95
SUB-TOTAL 2:					5.220,95

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS - PERLA DEL IMAZA						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado	Costo	TOTAL	
			Total	Unitario		
			Cantidad	S/.	S/.	
3,00	<u>ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES</u>					
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	8,00	13,00	104,00	
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	27,00	15,00	405,00	
3,03	CONECTOR BIMETÁLICO , PARA AI 25mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	2,00	5,57	11,14	
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA AI 35mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50		
3,05	CONECTOR, PARA AI 25mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	5,00	6,70	33,50	
3,06	CONECTOR AISLADO, PARA AI 35mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50		
3,07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	101,00	0,35	35,35	
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	12,00	3,05	36,60	
3,09	CINTA AISLANTE	roll	100,00	3,60	360,00	
SUB-TOTAL 3:					985,59	
4,00	<u>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE</u>					
4,01	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BIPOLAR, 2x10 mm ² , CUBIERTA NEGRA	m		11,76		
4,02	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm ² , CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	750,00	4,90	3.675,00	
4,03	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm ²	m	72,00	6,60	475,20	
SUB-TOTAL 4:					4.150,20	
5,00	<u>LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS</u>					
5,01	PASTORAL TUBO A°G° 38 mm f, INT.; 500mm AVANCE HORIZ.; 720 mm ALTURA, Y 20° INCLINACION, PROVISTO DE 2 ABRAZADERAS DOBLES PARA POSTE DE CAC	u	1,00	90,00	90,00	
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	1,00	196,00	196,00	
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	1,00	35,00	35,00	
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	1,00	25,00	25,00	
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 35 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	1,00	10,50	10,50	
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	1,00	5,92	5,92	
SUB-TOTAL 5:					362,42	
6,00	<u>RETENIDAS Y ANCLAJES</u>					
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	150,00	4,20	630,00	
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	90,00	9,50	855,00	
6,04	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 2.40 m, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN EL OTRO	u	15,00	35,00	525,00	
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	15,00	5,00	75,00	
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	30,00	9,00	270,00	
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	30,00	2,00	60,00	

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS - PERLA DEL IMAZA						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado		TOTAL	
			Total Cantidad	Costo Unitario S/.		TOTAL S/.
6,08	SOPORTE DE CONTRAPUNTA DE 51 mmØx1000mm DE LONG. CON ABRAZADERA PARTIDA EN UN EXTREMO	u	4,00	70,00	280,00	
6,09	ALAMBRE DE ACERO N° 12; PARA ENTORCHADO	m	45,00	1,00	45,00	
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	15,00	28,00	420,00	
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	15,00	6,70	100,50	
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmØ Y COBRE DE 16 mm²	u	15,00	5,92	88,80	
SUB-TOTAL 6:					3.349,30	
7,00	<u>ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS</u>					
7,01	PERNO CON GANCHO DE 16mm Ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,80		
7,02	PERNO CON GANCHO DE 16mm Ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	8,00	10,80	86,40	
7,03	PERNO DE A°G° DE 13mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		7,70		
7,04	PERNO DE A°G° DE 13mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	22,00	8,20	180,40	
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,30		
7,06	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	19,00	11,20	212,80	
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmØ	u	8,00	8,30	66,40	
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u	2,00	6,58	13,16	
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmØ	u	46,00	2,00	92,00	
7,11	CAJA DE DERIVACION PARA ACOMETIDAS, SISTEMA 220 V (10 BORNERAS EN CADA BARRA DE Cu)	u	2,00	185,00	370,00	
7,12	PORTALINEA UNIPOLAR DE A°G°, PROVISTO DE PIN DE 10 mm Ø	u	44,00	4,28	188,32	
SUB-TOTAL 7:					1.209,48	
8,00	<u>PUESTA A TIERRA</u>					
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	8,00	43,00	344,00	
	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	8,00	7,20	57,60	
8,02	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	8,00	6,50	52,00	
SUB-TOTAL 8:					453,60	
9,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>					
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	17,50	33,49	586,08	
9,02	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm f x 64mm DE LONGITUD	u	35,00	1,20	42,00	
9,03	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	35,00	0,66	23,10	
9,04	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	140,00	1,00	140,00	
9,05	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA AI 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	35,00	10,50	367,50	
9,06	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA AI 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	35,00	4,30	150,50	

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS - PERLA DEL IMAZA					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado	Costo	TOTAL
			Total	Unitario	
			Cantidad	S/.	S/.
9,07	TEMPLADOR DE A°G°	u	70,00	2,10	147,00
9,08	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	35,00	76,66	2.683,10
9,09	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE 1.	u	35,00	90,00	3.150,00
SUB-TOTAL 9:					7.289,28
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES					S/. 34.521,32

Fuente: Elaborado a partir de los costos y metrado.

Tabla 100: Presupuesto referencial montaje de materiales RS, comunidad Perla del Imaza.

MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS-PERLA DE IMAZA B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	METRADO	PRECIO	TOTAL
			TOTAL	UNIT.	
			CANT.	S/.	S/.
1,00	<u>MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES</u>				
	COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE :				
1,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 3X16+16/25 mm2	km	0,0		0,00
1,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X16/25 mm2	km	0,02	0,02	0,00
1,03	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm2	km	0,86	510,25	436,51
SUB-TOTAL 1:					436,52
2,00	<u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u>				
2,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m ³	12,3	31,62	389,56
2,02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m ³	0,0	112,44	0,00
2,03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	8,0	18,19	145,52
2,04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m ³	16,0	45,57	730,03
SUB-TOTAL 2:					1.265,11
3,00	<u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u>				
3,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	1,0	19,63	19,63
3,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	1,0	34,58	34,58
SUB-TOTAL 3:					54,21
4,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>				
	INSTALACIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE COMPRENDE :				
	CONEXIÓN DE ACOMETIDA				
	DOMICILIARIAS, MONTAJE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.				
4,01	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDIDOR)	u	20,0	35,26	705,20
4,02	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDIDOR)	u	15,0	42,67	640,05
4,03	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	35,0	11,09	388,15
4,04	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	35,0	20,00	700,00
SUB-TOTAL 4:					2.433,40
5,00	<u>PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:</u>				

MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS-PERLA DE IMAZA					
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	METRADO	PRECIO	TOTAL
			TOTAL CANT.	UNIT. S/.	
5,01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1,0	452,97	452,97
5,02	EXPEDIENTE TECNICO FINALES CONFORME A OBRA (1 ORIGINAL + 3 COPIAS) DE REDES SECUNDARIAS, INCLUYE LA PRESENTACIÓN DIGITALIZADA DE L EXPEDIENTE EN UN CD	Glb	1,0	150,00	150,00
SUB-TOTAL 5:					602,97
TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO				S/.	13.232,74

Fuente: Fuente: Elaborado a partir de los costos y metrado.

Tabla 101: Presupuesto referencial red secundaria Perla del Imaza.

VALOR REFERENCIAL RED SECUNDARIA COMUNIDAD PERLA DEL IMAZA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	SUMUNISTRO DE MATERIALES	S/. 34.521,32
2	MONTAJE ELECTROMECHANICO	S/. 13 232,74
3	TRANSPORTE DE MATERIALES (9 %)	S/. 3 106,92
4	COSTO DIRECTO	S/. 50 860,97
5	GASTOS GENERALES (10 %)	S/. 5 086,10
	UTILIDADES (10 %)	S/. 5 086,10
6	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	S/. 61 033,17
7	I.G.V. (18 %)	S/. 11 596,30
8	COSTO TOTAL INCLUIDO I.G.V. (S/.)	S/. 72 629,47

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.3. Costos totales de electrificación

5.4.3.1. Comunidad La Jalca

Tabla 102: Presupuesto referencial total electrificación comunidad La Jalca.

PRESUPUESTO REFERENCIAL TOTAL PARA LA COMUNIDAD LA JALCA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	S/. 36 668,38
2	PRESUPUESTO DE REDES SECUNDARIAS	S/. 0,00
TOTAL PRESUPUESTO PARA ELECTRIFICACIÓN		S/. 36 668,38

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.3.2. Comunidad El Verde

Tabla 103: Presupuesto referencial total electrificación comunidad El Verde.

PRESUPUESTO REFERENCIAL TOTAL PARA LA COMUNIDAD EL VERDE		
ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	S/. 80 923,54
2	PRESUPUESTO DE REDES SECUNDARIAS	S/. 51 095,21
	TOTAL PRESUPUESTO PARA ELECTRIFICACIÓN	S/. 132 018,75

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.3.3. Comunidad San José

Tabla 104: Presupuesto referencial total electrificación comunidad San José.

PRESUPUESTO REFERENCIAL TOTAL PARA LA COMUNIDAD SAN JOSÉ		
ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	S/. 125 364,47
2	PRESUPUESTO DE REDES SECUNDARIAS	S/. 68 699,97
	TOTAL PRESUPUESTO PARA ELECTRIFICACIÓN	S/. 194 064,44

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

5.4.3.4. Comunidad Perla del Imaza

Tabla 105: Presupuesto referencial total electrificación comunidad Perla del Imaza.

PRESUPUESTO REFERENCIAL TOTAL PARA LA COMUNIDAD PERLA DEL IMAZA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	S/. 143 935,46
2	PRESUPUESTO DE REDES SECUNDARIAS	S/. 72 629,47
	TOTAL PRESUPUESTO PARA ELECTRIFICACIÓN	S/. 216 564,93

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- a) La energía promedio diaria proyectada y máxima demanda para cada una de las comunidades:

Tabla 106: Máxima demanda y energía eléctrica proyectada.

Comunidad	Energía promedio diaria proyectada (W.h/día)	Máxima demanda proyectada (kW)
La Jalca	307,000	0,139
El Verde	8 882,571	3,628
San José	11 293,429	4,731
Perla del Imaza	16 345,429	6,781

Fuente: Elaboración propia de El Autor.

- b) A partir de los datos de irradiación solar del Atlas Solar del SENAMHI, aplicación web POWER Data Access Viewer de la NASA, software METEONORM y aplicación web Global Solar Atlas del grupo The World Bank, se pudo determinar la irradiación solar para calcular el sistema fotovoltaico de cada comunidad, bajo el criterio del mes crítico (o del mes peor).

Tabla 107: Irradiación solar para cada una de las comunidades.

Comunidad	Irradiación solar (kW.h/m ² /día)
La Jalca	3,953
El Verde	3,440
San José	3,440
Perla del Imaza	4,249

Fuente: Elaboración a partir de la data de irradiación solar.

- c) Se dimensionó y seleccionó los equipos y componentes para los sistemas fotovoltaicos de cada una de las comunidades, los cuales se encuentran descritos en el Capítulo IV de la presente TESIS. Para las redes secundarias se seleccionó postes de concreto armado centrifugado de 8 metros y conductor autoportante 1x16/25 para los tramos sin alumbrado público y conductor 2x16/25 para los tramos con alumbrado público.
- d) El costo total de la electrificación para cada una de las comunidades (incluye sistema fotovoltaico y redes secundarias) es como se muestra en la Tabla 108:

Tabla 108: Costo total electrificación para cada comunidad.

Comunidad	Costo total electrificación SFV + RS (S/.)
La Jalca	S/. 36 668,38
El Verde	S/. 132 018,75
San José	S/. 194 064,44
Perla del Imaza	S/. 216 564,93

Fuente: Elaborado a partir de resultados de Tablas 102 a Tabla 105.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Abella, Miguel Alonso. «Sistemas Fotovoltaicos.» Tesis de master, Escuela de Organización Industrial, Centro de Inverstigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid, s.f.
- 2) Alcor, E. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Progensa, 2002.
- 3) Bravo Damián, Víctor Yampier, y Dany Javier Gamarra Vílchez. «Diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de ingeniería electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.» Tesis de pregrado, Lambayeque, 2016.
- 4) Caballero Díaz, Ramiro. «Diseño de una instalación fotovoltaica de 300 kW sobre cubierta.» Proyecto de fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2014.
- 5) Casa Vilaseca, Miquel, y Mónica Barrio López. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Barcelona: marcombo, 2012.
- 6) Castejón, Agustín, y Germán Santamaría. *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Editex, 1998.
- 7) Chávez Guerrero, Mónica Alejandra. «Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional San Antonio de Riobamba.» Tesis de pregrado, Riobamba, 2012.
- 8) Díaz Carcobado, Tomás, y Guadalupe Carmona Rubio. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. McGraw-Hill, 2010.

- 9) FUNIBER. *Energía solar fotovoltaica*. s.f.
- 10) Grupo Banco Mundial. *Banco Mundial*. 03 de Octubre de 2018.
<http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#1>.
- 11) Morcillo, J. *Temas básicos de química*. Madrid: Alhambra Universidad, 1993.
- 12) Muñoz, Vicente. *Suelo Solar: Guía de los acumuladores de energía solar fotovoltaica*. 30 de junio de 2014.
<https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=10037>.
- 13) Pérez Garrido, Danilo Osvaldo. «Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampollitas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos.» Tesis de pregrado, Valdivia, 2009.
- 14) Perpiñan Lamigueiro, Oscar. *Energía solar fotovoltaica*. 2014.
- 15) Portabella Cilveti, Ixtebe. «Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Proyecto Final de Carrera, Barcelona, 2010.
- 16) RODAS. *El enlace químico: La teoría de Bandas*. s.f.
https://rodas5.us.es/file/dc3b91ee-0f7c-2f88-4176-5d95b43de30f/1/tema9_word_SCORM.zip/page_23.htm (último acceso: 14 de 12 de 2018).
- 17) Romero, Jacobo C. «Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra de Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró.» Tesina final de master, Barcelona, 2015.

- 18) Sanz Moya, Roberto. «Diseño de una central fotovoltaica de 100 kWp de potencia nominal.» Proyecto fin de carrera, Madrid, 2010.
- 19) Soberón Huamán, Leonides. «Diseño de una central fotovoltaica para suministrar energía eléctrica a la comunidad nativa de Kusu Numpatkaim distrito del Cenepa, 2016.» Tesis de Pregrado, Jaén, 2016.
- 20) Valdera Santisteban, Felipe. «Propuesta de un diseño de sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica en el C.P. Calerita - Chiclayo, 2016.» Tesis de pregrado, Trujillo, 2016.
- 21) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2014.

ANEXOS

- ANEXO 01: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico comunidad La Jalca.
- ANEXO 02: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico comunidad El Verde.
- ANEXO 03: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico comunidad San José.
- ANEXO 04: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico comunidad Perla del Imaza.
- ANEXO 05: Hojas técnicas de módulos fotovoltaicos.
- ANEXO 06: Hojas técnicas de reguladores de tensión.
- ANEXO 07: Hojas técnicas de baterías.
- ANEXO 08: Hojas técnicas de inversores.
- ANEXO 09: Plano redes secundarias comunidad El Verde.
- ANEXO 10: Plano redes secundarias comunidad San José.
- ANEXO 11: Plano redes secundarias comunidad Perla del Imaza.