



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**

**Jorge Aníbal Tagüite Flores**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, septiembre de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JORGE ANÍBAL TAGÜITE FLORES**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de mayo de 2018.

**Jorge Aníbal Tagüite Flores**



Guatemala, 09 de Julio de 2019

Ingeniero

Otto Fernando Andrino González

Coordinador del Área de Electrotecnia

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

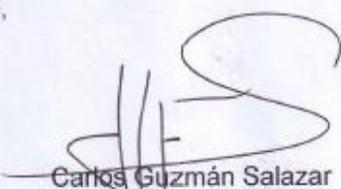
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Andrino:

Por este medio hago de su conocimiento que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante, **Jorge Anibal Tagüite Flores**, titulado **ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**. El que ha cumplido con los objetivos que fueron planteados para su ejecución. Por lo que, doy mi **APROBACIÓN** al mismo.

Asimismo, indico que tanto el estudiante Tagüite Flores, como el suscrito, somos responsables del contenido del trabajo en cuestión.

Reciba un cordial saludo y quedo en la mejor disposición de ampliar lo indicado en la presente. Atentamente,



Carlos Guzmán Salazar

ASESOR

**LOS GUZMÁN SALAZAR**  
Ingeniero Electricista  
Col. No. 2762



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 65. 2019.  
3 de SEPTIEMBRE 2019.

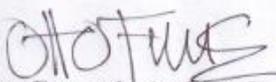
Señor Director  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE  
TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**, del estudiante;  
Jorge Anibal Tagüite Flores, que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Coordinador de Electrotécnia





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 65. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **JORGE ANIBAL TAGÜITE FLORES** Titulado; **ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 3 DE OCTUBRE 2019.



DTG. 267.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN DE BAJO CONSUMO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Anibal Tagüite Flores**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Gracias por permitirme cumplir mis metas haberme guiado y darme la sabiduría, salud para culminar mis estudios.
- Mis padres** Jorge Tagüite Caracún y Santos Amparo Flores (q.e.p.d.), por su amor incondicional que será siempre mi inspiración cada día para ser una persona mejor y darme palabras de aliento en los momentos más difíciles.
- Mis hermanos** Diego Armando, Selvin Humberto, Yesica Maribel, Mónica Esmeralda Tagüite Flores y Ricardo Tagüite Ajín, por el cariño, apoyo y consejos que siempre me han dado.
- Cuñado** Miguel Ángel Chávez, gracias por formar parte de mi familia y brindarme tu apoyo, consejos en los momentos que lo necesite.
- Sobrino** Ángel Fernando Chávez Tagüite, personita que llego a darme alegría y ser fuente de motivación para seguir adelante.

**Persona importante**

Nancy Patricia Jiménez Vásquez, tú fuiste una de mis motivaciones más importantes para cumplir esta meta, ya que para mí eres y serás la persona más especial en mi vida.

**Mi asesor**

Carlos Eduardo Guzmán Salazar, por guiarme y brindarme su apoyo en la realización de mi trabajo de graduación.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y la base fundamental en mi formación académica y profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de formar parte de tan distinguida Facultad y ser la base fundamental de mi formación profesional.

**Mi madre**

Por ser mi luz, mi guía en todo momento de mi vida, por siempre apoyarme en vida y ahora desde el cielo.

**Mi padre**

Por ser la persona que siempre me apoyó en todo momento, ser la inspiración para ser una persona mejor cada día y cumplir mi meta de graduarme.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Por el apoyo que siempre me brindaron durante el trayecto de la culminación de la carrera.

**Persona importante**

Nancy Jiménez, fuiste y serás la persona que me inspiró y motivó para superarme en todo momento y llegar a la culminación de la carrera.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. ENERGÍA SOLAR .....	1
1.1. Medición de la energía solar.....	2
1.2. Aprovechamiento de la radiación solar.....	4
1.3. Energía solar térmica.....	6
1.4. Aplicación de la energía solar fotovoltaica.....	8
2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS HÍBRIDOS POR IMPLEMENTAR ...	13
2.1. Panel solar.....	16
2.1.1. Conjunto de paneles solares.....	19
2.1.2. Selección de panel solar .....	20
2.1.3. Rendimiento de paneles fotovoltaicos.....	28
2.1.4. Funcionamiento interno de los paneles solares .....	30
2.1.5. Celdas fotovoltaicas .....	31
2.1.6. Regulador de voltaje de carga .....	32
2.1.7. Entorno e instalación.....	35
2.1.8. Inversor DC/AC y A/C/DC y principio de operación .....	36
2.2. Motogenerador .....	39
2.2.1. Descripción del funcionamiento del motogenerador .....	40

2.2.2.	Descripción de los componentes del motogenerador ....	42
2.2.3.	Descripción del sistema de enfriamiento del motogenerador .....	49
2.2.4.	Descripción de Instalación de motogenerador.....	54
2.3.	Almacenamiento de energía (banco de baterías).....	60
2.3.1.	Principios operativos de una batería.....	61
2.3.2.	Clasificación general de baterías.....	64
2.3.3.	Tecnología de la batería .....	71
2.3.4.	Características constructivas .....	74
2.3.5.	Características funcionales.....	77
2.3.6.	Alarmas .....	79
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS POR INSTALAR EN UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN.....	81
3.1.	Equipo GSM/CDM Y APM 200.....	81
3.2.	Conmutadores analógicos y digitales .....	86
3.3.	Estaciones de base transceptoras.....	88
3.4.	Equipo de transmisión de voz y datos .....	91
3.5.	Repetidoras y rectificadoras .....	98
4.	DISTRIBUCIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS EN TORRES DE TELECOMUNICACIÓN.....	105
4.1.	Cálculo y distribución de carga instalada según potencia demandada de la torre de telecomunicación.....	105
4.2.	Dimensionamiento del sistema híbrido.....	109
4.2.1.	Cálculo y selección del panel solar y controlador de carga según la potencia demandada en torre de telecomunicación .....	109
4.2.2.	Selección de ATS y su dimensión .....	118

4.2.3.	Selección de protección eléctrica en cada punto de interconexión del sistema híbrido.....	121
4.2.4.	Interconexión de paneles fotovoltaicos, motogenerador y banco de baterías .....	125
4.2.5.	Selección de motogenerador y controlador de carga según potencia demandada de la torre de telecomunicación .....	127
4.2.6.	Selección de almacenamiento de energía (banco de baterías) según potencia demandada de la torre de telecomunicación .....	129
4.2.7.	Selección del inversor DC/AC y AC/DC .....	133
4.2.8.	Instalación, operación y mantenimiento del sistema híbrido .....	138
4.2.9.	Diagramas unifilares según la potencia demanda de la torre de telecomunicación .....	155
4.3.	Cálculo y diseño de sistemas de tierras para el sistema híbrido en torre de telecomunicación .....	164
4.4.	Viabilidad económica y técnica de la implementación del sistema híbrido a torres de telecomunicación .....	175
4.4.1.	Costo de instalación y equipamiento.....	176
4.4.2.	Costo de obra civil.....	182
4.4.3.	Costo del sistema híbrido.....	184
4.4.4.	Costo de mantenimiento del sistema híbrido .....	189
4.4.5.	Cálculo de la producción anual esperada .....	189
4.4.6.	Costo KW hora y tarifa de la energía eléctrica .....	200
4.4.7.	Cálculo de CO2 evitadas .....	201
4.4.8.	Análisis de costeo y beneficio del sistema híbrido a las torres de telecomunicación.....	208

4.4.9. Determinación del tiempo de recuperación de la inversión .....213

CONCLUSIONES.....229

RECOMENDACIONES .....231

BIBLIOGRAFÍA.....233

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mapa de potencial solar en la república de Guatemala radiación solar, anual en Kwh/m <sup>2</sup> /día.....	3
2.	Mapa de ruta: visión para el calor solar industrial en relación con la energía final total. El uso de calor a temperatura baja para procesos industriales .....	7
3.	Mapa de ruta: visión a futuro para la calefacción y refrigeración solar...	7
4.	Mapa de ruta: potencial de uso de calor solar térmico en procesos industriales .....	8
5.	Señalización mediante energía fotovoltaica .....	9
6.	Sistema fotovoltaico relacionado con la telecomunicación.....	10
7.	Partes que componen un panel solar.....	13
8.	Banco de baterías .....	15
9.	Motogenerador.....	16
10.	Estructura de célula solar.....	19
11.	Conjunto fotovoltaico.....	20
12.	Panel solar de silicio monocristalino.....	22
13.	Panel solar de silicio policristalino.....	23
14.	Conexión en paralelo de paneles solares .....	24
15.	Conexión en serie de paneles solares .....	25
16.	Conexión mixta de paneles solares .....	25
17.	Panel solar SAYA bifacial cristalino 72 células .....	27
18.	Curva I-V de panel solar a varias temperaturas .....	27
19.	Curva I-V de panel solar a varias radiaciones.....	28

20.	Curva de rendimiento de panel fotovoltaico .....	29
21.	Panel solar interno .....	31
22.	Regulador de voltaje de carga .....	34
23.	Inversor DC/AC y AC/DC .....	39
24.	Pantalla principal de motogenerador .....	47
25.	Balance de energía.....	49
26.	Sistema de refrigeración por aire a presión .....	50
27.	Sistema de refrigeración por aspiración.....	51
28.	Sistema de refrigeración por agua .....	52
29.	Sistema de lubricacion forzada .....	54
30.	Ventilación adecuada de motogenerador .....	55
31.	Instalación de motogenerador típico .....	56
32.	Estructuras adecuadas al motogenerador .....	57
33.	Forma de transportar el motogenerador .....	58
34.	Instalación de reducción de vibraciones .....	60
35.	Principio operativo de la batería .....	62
36.	Partes internas de la batería.....	63
37.	Descarga y carga de baterías de plomo-ácido .....	63
38.	Capacidad batería plomo-ácido (amperio-hora) .....	66
39.	Variación de la capacidad de baterías plomo-ácido en función de la temperatura .....	67
40.	Efecto de la temperatura en la vida útil de la baterías plomo-ácido.....	67
41.	Efecto de la profundidad de descarga en la vida de las baterías de plomo-ácido .....	68
42.	Razones de autodescarga de baterías de plomo-ácido.....	68
43.	Principio de las baterías de Ion-litio .....	70
44.	Corriente frente a voltaje en baterías de aire-zinc .....	71
45.	Fases del sistema GSM.....	83
46.	Espacio para evitar interferencia entre canales .....	86

47.	Multiplexor .....	92
48.	Estructura de módems .....	95
49.	Repetidor de fibra óptica .....	99
50.	Repetidoras de aéreo.....	101
51.	Configuración de repetidoras en cascada .....	101
52.	Plantas rectificadoras .....	103
53.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 1,0 KW.....	111
54.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 2,0 KW.....	112
55.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 3,5 KW.....	112
56.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 5,0 KW.....	113
57.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 8,0 KW.....	114
58.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 12,0 KW.....	115
59.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 16,0 KW.....	116
60.	Configuración de conexión de paneles solares en serie para equipo en poste de 1,0 KW .....	117
61.	Proceso de funcionamiento de ATS, ASCO 381333-400 A .....	119
62.	Proceso de funcionamiento de AT´S.....	121
63.	Causas de anomalías en protecciones eléctricas .....	122
64.	Curva de disparo de breaker según su capacidad (amperios).....	124
65.	Esquema de la interconexión de los equipos híbridos .....	126
66.	Motogenerador SDMO de 18 KW .....	128
67.	Esquema de conexión de banco de baterías .....	131

68.	Batería solar TAB 48V 575Ah 5TOPzS442 .....	131
69.	Baterías Marathon de plomo-ácido reguladas con válvula .....	133
70.	Inversor DC/AC y AC/DC infinisolar.....	137
71.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 1,0 KW.....	155
72.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 2,0 KW.....	156
73.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 3,5 KW.....	157
74.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 5,0 KW.....	158
75.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 8,0 KW.....	159
76.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 12,0 KW.....	160
77.	Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 16,0 KW.....	161
78.	Unifilar para una torre de telecomunicación sin energía eléctrica de 2,0 KW .....	162
79.	Unifilar para una torre de telecomunicación sin energía eléctrica de 3,5 KW .....	163
80.	Unifilar para equipo de telecomunicación en poste con energía eléctrica inestable de 1,0 KW .....	164
81.	Método Wenner .....	168
82.	Método Schlumberger.....	169
83.	Curvas equipotenciales.....	170
84.	Diseño de barra química para sistema puesta a tierra.....	172
85.	Tarifa de cobro por KWH en Guatemala.....	200

86.	Flujo de caja del sistema híbrido de 1,0 KW en torre de telecomunicación .....	214
87.	Flujo de caja del sistema híbrido de 2,0 KW en torre de telecomunicación .....	216
88.	Flujo de caja del sistema híbrido de 3,5 KW en torre de telecomunicación .....	218
89.	Flujo de caja del sistema híbrido de 5,0 KW en torre de telecomunicación .....	220
90.	Flujo de caja del sistema híbrido de 8,0 KW en torre de telecomunicación .....	222
91.	Flujo de caja del sistema híbrido de 12,0 KW en torre de telecomunicación .....	224
92.	Flujo de caja del sistema híbrido de 16,0 KW en torre de telecomunicación .....	226

## TABLAS

I.	Capacidad calorífica de combustibles .....	43
II.	Consumo de aceite en distintos tipos de motores según su potencia .....	53
III.	Capacidad de banco de batería.....	73
IV.	Nivel de tensión de banco de batería .....	73
V.	Corriente de salida de cargador .....	74
VI.	Características del cargador.....	74
VII.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 1,0KW .....	106
VIII.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 2,0KW .....	106
IX.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 3,5KW .....	106

X.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 5,0 KW .....	107
XI.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 8,0 KW. ....	107
XII.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 12,0 KW .....	107
XIII.	Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 16,0 KW .....	108
XIV.	Potencia demandada en torres de telecomunicación sin energía eléctrica de 2,0 KW .....	108
XV.	Potencia demandada en torres de telecomunicación sin energía eléctrica de 3,5 KW .....	108
XVI.	Potencia demandada en poste de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 1,0 KW .....	109
XVII.	Capacidad de breaker (amperios) en la interconexión de cada punto híbrido en sitio con energía eléctrica inestable .....	124
XVIII.	Capacidad de breaker (amperios) en la interconexión de cada punto híbrido en sitio sin energía eléctrica .....	125
XIX.	Capacidad de breaker (amperios) en la interconexión de cada punto híbrido en poste con energía eléctrica inestable .....	125
XX.	Estimación de instalación del sistema híbrido en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable.....	177
XXI.	Estimación de instalación del sistema híbrido en torres de telecomunicación sin energía eléctrica .....	178
XXII.	Estimación de instalación del sistema híbrido en poste con energía eléctrica inestable.....	179
XXIII.	Estimación de costos en equipos del sistema híbrido en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable. ....	180

XXIV.	Estimación de costos en equipos del sistema híbrido en torres de telecomunicación sin energía eléctrica.....	181
XXV.	Estimación de costos en equipos del sistema híbrido en postes con energía eléctrica inestable.....	182
XXVI.	Estimación de costos en obra civil por m2 para el equipo híbrido.....	183
XXVII.	Estimación de costos de obra civil para bases que soportará el equipo híbrido .....	183
XXVIII.	Estimación de costos del sistema híbrido de 1,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	184
XXIX.	Estimación de costos del sistema híbrido de 2,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	184
XXX.	Estimación de costos del sistema híbrido de 3,5 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	185
XXXI.	Estimación de costos del sistema híbrido de 5,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	185
XXXII.	Estimación de costos del sistema híbrido de 8,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	186
XXXIII.	Estimación de costos del sistema híbrido de 12,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	186
XXXIV.	Estimación de costos del sistema híbrido de 16,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable .....	187
XXXV.	Estimación de costos del sistema híbrido de 2,0 KW en torres de telecomunicación sin energía eléctrica.....	187
XXXVI.	Estimación de costos del sistema híbrido de 3,5 KW en torres de telecomunicación sin energía eléctrica.....	188
XXXVII.	Estimación de costos del sistema híbrido de 1,0 KW en equipos de telecomunicación en poste con energía eléctrica inestable.....	188
XXXVIII.	Estimación de costo de mantenimiento en los sistemas híbridos.....	189

XXXIX.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 1,0 KW .....	191
XL.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 2,0 KW .....	192
XLI.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 3,5 KW .....	193
XLII.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 5,0 KW .....	194
XLIII.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 8,0 KW .....	195
XLIV.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 12,0 KW .....	196
XLV.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 16,0 KW .....	197
XLVI.	Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de un equipo de telecomunicación en poste de 1,0 KW .....	198
XLVII.	Cantidad de energía suministrada por el moto-generador en sitio de 2,0 KW .....	199
XLVIII.	Cantidad de energía suministrada por el moto-generador en sitio de 3,5 KW .....	199
XLIX.	Tabla comparativa de CO2 evitadas por energía fotovoltaica según la demanda de la torre o poste de equipos de telecomunicación .....	207
L.	Tabla comparativa de CO2 evitadas por el suministro de energía del MG según la demanda de la torre de telecomunicación .....	207

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperios
<b>Ah</b>	Amperio hora
<b>Al</b>	Aluminio
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>Cos</b>	Coseno
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>Hz</b>	Hercio
<b>H</b>	Hora
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>J</b>	Julio
<b>K</b>	Grados kelvin
<b>KA</b>	Kilo amperio
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Km</b>	Kilometro
<b>Kw</b>	Kilovatio
<b>KVAp</b>	Kilo voltios amperio pico
<b>KVA</b>	Kilo voltios amperios
<b>L</b>	Libras
<b>M</b>	Metro
<b>Mg</b>	Motogenerador
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>N</b>	Níque

<b><math>\rho</math></b>	Resistividad
<b>P</b>	Fósforo
<b>Pb</b>	Plomo
<b>Q</b>	Quetzal
<b>Sen</b>	Seno
<b>Si</b>	Silicio
<b>T</b>	Tonelada
<b>Ta</b>	Temperatura ambiente
<b>Tan</b>	Tangente
<b>V</b>	Voltio
<b>Vac</b>	Voltio corriente alterna
<b>W</b>	Vatio
<b>Zc</b>	Zinc

## GLOSARIO

<b>AT'S</b>	La función es determinar en qué momento la energía primaria necesita ser cambiada por la energía producida por la red de emergencia. Esta suele estar instalada en la zona donde se instala el generador eléctrico, por funcionalidad y cableado.
<b>Batería</b>	Dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos y que, posteriormente, se recarga en su totalidad
<b><i>Breaker</i></b>	Término en inglés que sirve para definir a un dispositivo o interruptor termomagnético capaz de interrumpir el paso de corriente eléctrica, cuando esta sobrepasa ciertos valores máximos.
<b>Corriente alterna</b>	Corriente eléctrica cuya magnitud y dirección varían cíclicamente.
<b>Corriente directa</b>	Flujo de continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. Esto implica un flujo de carga que siempre fluye en una sola dirección.
<b>Cuerpo negro</b>	Objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él.

<b>Dieléctrico</b>	Es un tipo de aislante que tiene la propiedad de formar dipolos eléctricos en su interior por la acción de campo eléctrico.
<b>Dióxido de carbono</b>	Gas incoloro denso y poco reactivo, forma parte de la composición de la troposfera y se genera cuando se quema cualquier sustancia que tenga carbono.
<b>Efecto <i>Hall</i></b>	Aparición de un campo eléctrico por separación de cargas en el interior de un conductor por la circulación de un campo magnético.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima.
<b>Energía fotovoltaica</b>	Transformación directa de la radiación solar en electricidad.
<b>Factor de forma</b>	Relación entre el valor eficaz y el valor medio da idea de la forma de onda.
<b>Fotón</b>	Partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético, es la partícula portadora de formas de radiación electromagnética.
<b>Inducción remanente</b>	Nivel de inducción magnética aun existente en una sustancia ferromagnética después de someterla a la acción de un campo magnético.

<b>Irradiación</b>	Propagación de energía en formas de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío de un medio material.
<b>Latitud</b>	Distancia angular entre el ecuador y un punto determinado del planeta medida a lo largo del meridiano desde ese punto angular.
<b>Mosfet</b>	Dispositivo semiconductor utilizado para la conmutación y amplificación de señales.
<b>Potencia eléctrica</b>	Cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta y que se consume en una determinada unidad de tiempo.
<b>Tensión eléctrica</b>	Diferencial de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno.
<b>Vatio pico</b>	Potencia eléctrica máxima de un panel solar.
<b>VPN</b>	Valor presente neto.



## RESUMEN

El mundo enfrenta actualmente la problemática del calentamiento global y cambio climático, aumento observado en más de un siglo, de la temperatura de la tierra y sus efectos. Esto conlleva la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de energía, energías renovables o energías verdes que no contaminen el ambiente y no consuman recursos del planeta para generar electricidad. Un claro ejemplo es la implementación de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, un sistema de generación multifuente, en el existen distintas tecnologías de producción eléctrica conectadas en paralelo al generador fotovoltaico.

Este sistema híbrido de generación será diseñado de forma robusta, compacta y modular en el cual se aprovechará la radiación electromagnética procedente del sol y mediante distintos diseños de sistemas híbridos, se obtendrá una solución de hasta 16,0 KW de potencia en lugares donde el servicio de energía eléctrica no es continuo. En lugares donde no se cuenta con el servicio de energía eléctrica será de hasta 3,5 KW de potencia.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar un sistema híbrido de generación de energía eléctrica eficaz, capaz de suministrar energía eléctrica demandada en equipos de telecomunicación de bajo consumo.

## Específicos

1. Estudiar las particularidades técnicas que rigen el desempeño de los sistemas fotovoltaicos solares eficaces.
2. Demostrar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Determinar los requerimientos mínimos para el correcto funcionamiento del sistema híbrido de generación eléctrico propuesto.
4. Demostrar que es factible la realización del proyecto del sistema híbrido de generación eléctrico propuesto.



## INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es determinar el aporte energético que puede llegar a tener la implementación de un sistema híbrido, para el suministro de equipos de telecomunicación de bajo consumo, el cual consiste en la colocación de paneles solares conectados en paralelo a una moto generadora y un gabinete de baterías. Este, mediante un interruptor de transferencia automática (ATS), entrará la alimentación generada mediante los paneles solares si se cuenta con la producción solar adecuada; funcionara al no tener presencia de energía eléctrica o el nivel de voltaje permitido. Si es durante, la noche el gabinete de baterías entrará como el respaldo para los equipos, si se encuentra el gabinete de baterías descargado entrará como respaldo el moto generador que, a su vez, estará alimentando los equipos de telecomunicación y cargando el banco de baterías.

Debido a que en ciertos lugares de Guatemala la energía eléctrica es inestable o no se cuenta con ella en las torres de telecomunicación, el sistema híbrido por implementar ayudará a respaldar el suministro de energía eléctrica. A la vez aportará para lograr nuevas formas de generar electricidad, energías verdes las cuales son de suma importancia para la disminución del calentamiento global y el cambio climático, con lo cual se garantizará una generación de energía limpia y la disminución de CO<sub>2</sub>.

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía obtenida mediante el aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. Este tipo de energía es producida de manera limpia, por lo que no afecta al ambiente y no tiene aportes de dióxido de carbono.



# 1. ENERGÍA SOLAR

La energía se define como la capacidad que posee un cuerpo para desarrollar una acción o trabajo. Se considera a la materia como una concentración intensa de energía y a la radiación como una de sus manifestaciones. Diversos recursos naturales o fenómenos de la naturaleza son capaces de suministrar y brindar energía en cualquiera de sus formas, por lo que se les considera fuentes naturales de energía o recursos energéticos.

Según la fórmula de Einstein la energía es igual al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz:  $E = mv^2$ .

El término energía solar se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del sol. Es de tipo renovable, ya que la energía contenida en el sol es tan abundante que se considera inagotable. La radiación solar que alcanza la tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. En la actualidad el calor y la luz del sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica.

En la actualidad, existen básicamente tres formas para aprovechar la energía solar:

- Energía solar pasiva
- Energía solar fotovoltaica
- Energía solar térmica

## 1.1. Medición de la energía solar

La intensidad del flujo energético solar que incide en la tierra depende de la latitud del sitio: mientras más cerca del ecuador, la luz incide de forma más perpendicular en la tierra, es decir, con una intensidad más alta. Por otro lado, la intensidad varía según la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas. La magnitud que describe la intensidad de la radiación solar, se conoce como irradiancia y se mide en vatios por metro cuadrado ( $w/m^2$ ). En términos populares también se dice brillo solar.

La radiación es la energía solar que incide en una placa plana de un metro cuadrado. Como la posición de la Tierra respecto del sol cambia constantemente, el ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie cambia según la hora del día y según el día del año. Por eso, la orientación y la inclinación de la superficie determinan la cantidad de energía solar que recibe.

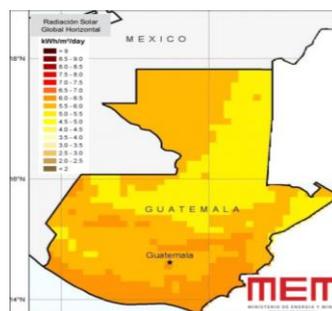
Fuera de la atmósfera, la irradiancia tiene un valor que se admite actualmente como de 1 353 ( $w/m^2$ ) con variaciones de alrededor de 50 ( $w/m^2$ ) según varía la distancia entre la tierra y el sol. Cuando el cielo está completamente despejado, la irradiancia en el suelo terrestre es de alrededor de 1 000 ( $w/m^2$ ). Es decir, que la cuarta parte de la energía procedente del sol es amortiguada por la atmósfera.

Por efectos de utilización de la energía solar, el término radiación se usa para cuantificar la densidad superficial de energía solar incidente en una superficie plana. Por lo general, se entiende por radiación solar al promedio diario de la irradiancia que incide sobre una superficie plana de un metro cuadrado, la radiación se mide, entonces, en vatio-horas por metro cuadrado.

Para el diseño técnico de la mayoría de los sistemas solares, la radiación proporciona el dato más importante, porque representa la energía que se puede aprovechar. Este dato permite realizar un diseño básico del sistema. La irradiación en función de la hora del día, puede contribuir al entendimiento de las características dinámicas del sistema solar y permite afinar el diseño técnico. La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa.

La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La radiación difusa (RD) es aquella que está presente en la atmósfera, gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar de las nubes u otros elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa es direccional, puede reflejarse y concentrarse mientras que la difusa no, pues es omnidireccional. En cuanto al potencial de la radiación solar incidente en Guatemala, se ha determinado un valor promedio de 5,4 kilovatios/ $m^2$ /día. La figura 1 muestra la distribución de la radiación sobre la superficie de la república.

Figura 1. **Mapa de potencial solar en la república de Guatemala radiación solar, anual en  $Kwh/m^2/día$**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. *Mapa de potencial solar en la república de Guatemala*. <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/05/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala>. Consulta: 24 de junio 2018.

## **1.2. Aprovechamiento de la radiación solar**

Guatemala, país tropical de América Central, situado a 14,5° arriba del Ecuador, recibe constantemente en todo el año gran cantidad de radiación solar. Se observa que Guatemala, debido a su localización geográfica tiene un considerable aporte de radiación solar durante todo el año. El consumo de energía en los países sube cada año, aproximadamente, en un 10 %. Con el objeto de llevar una alternativa energética para generación eléctrica y de consumo bajo, como una instalación de generación de energía fotovoltaica.

Dentro de este estudio se contempla establecer la factibilidad económica de un sistema fotovoltaico proyectado a 12 años, en comparación con el consumo, específicamente que la instalación inicial de paneles solares, para la captación de energía solar es una inversión que en algunos casos supera otro tipo de instalaciones de generadores de energía eléctrica.

Sin embargo, se estima que la vida útil de los paneles solares, es de 25 años, con bajo mantenimiento, lo cual considerando la inversión inicial diluida en 25 años, representa un consumo de muy bajo costo. Agregando que el costo disminuye aun tomando en cuenta la no contaminación ambiental al no producir gases de invernadero.

Para optimizar esta situación de conveniencia en el campo energético, así como ambiental, debe plantearse al Congreso de la República propuestas de ley, para solicitar y velar para que se instalen este tipo de generadores de energía eléctrica no contaminante, como la captación de energía solar sin peligro de agotarse en el planeta.

La radiación solar en promedio de 4,5 a 6,5 KW por hora por metro cuadrado, por día y permite transformarla a partir de paneles solares en energía eléctrica, la cual puede ser suministrada a 12 voltios (V) o al voltaje que sea requerido por el usuario. La energía solar es aprovechable en horas de irradiación de luz, siendo mayor ese aprovechamiento a mayor altitud.

También se puede colocar, los paneles receptores de energía solar en el punto máximo de los postes de luz, el panel solar alimentará la lámpara incandescente, no en la totalidad de horas de penumbra solar, pero si al menos un 50 % del tiempo, por lo cual también repercutiría considerablemente en un ahorro y cese de contaminación al ambiente.

Las empresas eléctricas a nivel regional y nacional no están en capacidad de suministrar suficiente energía para sus clientes y además hay un desabastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales por falta de instalaciones.

La ciudad de Guatemala está a una altura de 1 458 msnm, y con una variación de declinación solar en todo el país, a través del año entre  $-23^{\circ}$  y  $23^{\circ}$  lo cual permite que siempre reciba radiación solar.

Al considerar lo anterior se toma en cuenta que en las torres de telecomunicación existe una demanda necesaria de energía eléctrica se hace oportuno plantear una alternativa de generación energética alterna para brindar el suministro de la energía eléctrica sin interrupción y así los equipos de telecomunicación prestaran un servicio a sus clientes de disponibilidad en lugares donde el servicio de energía eléctrica no es continuo o no se cuenta con ella.

### **1.3. Energía solar térmica**

La energía solar térmica o energía termo-solar se define como el aprovechamiento de la energía del sol para generar calor mediante el uso de colectores o paneles térmicos. Esta energía solar se encarga de calentar el agua u otro tipo de fluidos a temperaturas que podrían oscilar entre 40° y 50° no debiendo superar los 80°.

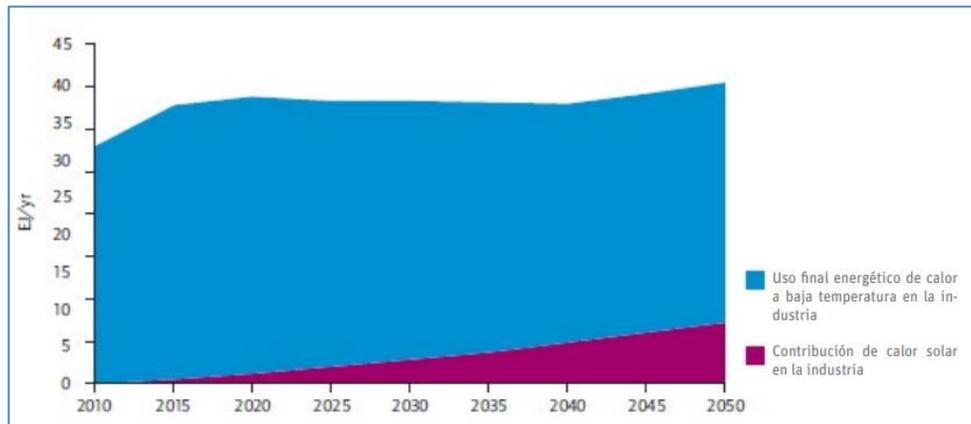
El funcionamiento de la captación de energía solar térmica se basa en lo siguiente: primer paso es captar los rayos solares mediante colectores o paneles solares, después a través de este panel solar hacemos pasar agua u otro fluido de características similares, de esta manera una parte del calor adsorbido por el panel solar es transferido al agua y de esta forma ya puede ser directamente usada o almacenada para que se haga uso cuándo se necesite.

La energía solar térmica STE (por sus siglas en inglés) se refiere al calor generado por la radiación solar. Esta se utiliza en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales a través de tecnologías diferentes, que incluyen la producción de vapor en los sistemas de calefacción, los sistemas de refrigeración e incluso la generación de electricidad. En cuanto al sector industrial el uso de STE representa menos de 100 MW de la capacidad mundial, lo que significa que el potencial de crecimiento para la STE es importante en los dos sectores, el potencial de crecimiento para la EST parece aún más considerable si se toma en cuenta el intento por incrementar la sustentabilidad y el uso de energía renovable de la matriz energética tanto a nivel global como en cada país.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA). Para el 2050 la EST podría proporcionar al sector industrial un 3 a 4 % de su demanda total de

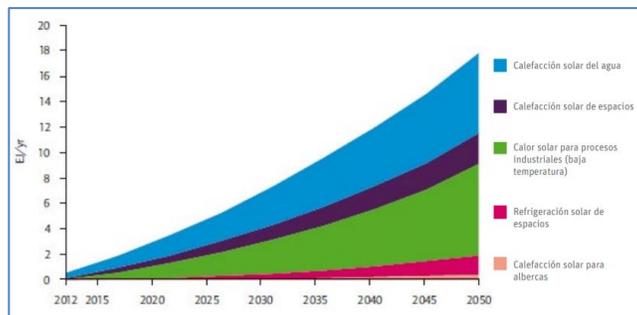
calor y el uso potencial de EST alrededor del mundo es considerable, especialmente América Latina. 1 Exajoule= 277 TWh.

Figura 2. **Mapa de ruta: visión para el calor solar industrial en relación con la energía final total. El uso de calor a temperatura baja para procesos industriales**



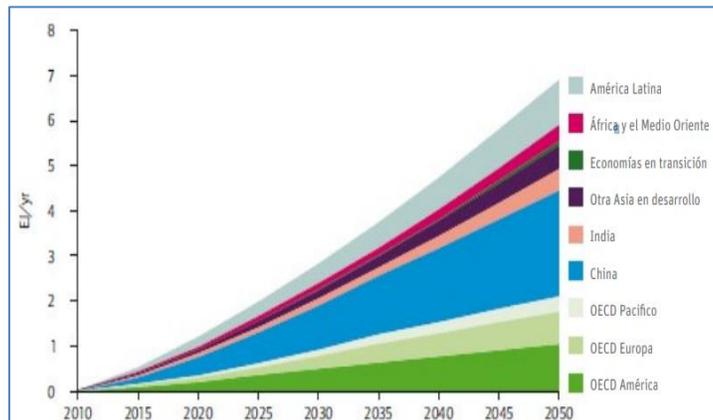
Fuente: PAREDES, Juan. *Mapa de ruta: visión para el calor solar industrial en relación con la energía final total* [https:// Solar\\_Thermal\\_Energy\\_SPA\\_final.pdf](https://Solar_Thermal_Energy_SPA_final.pdf). Consulta: 5 de julio 2018.

Figura 3. **Mapa de ruta: visión a futuro para la calefacción y refrigeración solar**



Fuente: PAREDES, Juan. *Mapa de ruta: visión a futuro para la calefacción y refrigeración solar.* [https:// Solar\\_Thermal\\_Energy\\_SPA\\_final.pdf](https://Solar_Thermal_Energy_SPA_final.pdf). Consulta: 5 de julio 2018.

Figura 4. **Mapa de ruta: potencial de uso de calor solar térmico en procesos industriales**



Fuente: PAREDES, Juan. *Mapa de ruta: potencial de uso de calor solar térmico en procesos industriales*. [https:// Solar\\_Thermal\\_Energy\\_SPA\\_final.pdf](https://Solar_Thermal_Energy_SPA_final.pdf). Consulta: 5 de julio 2018.

El uso de EST en los procesos industriales reduce significativamente el consumo directo de fuentes de energía primarias, también proporciona energía a precio previsible y estable ya que la mayoría de los costos de instalación está incluido en la inversión inicial. Para otras fuentes el costo depende de variables y algunas veces de los precios volátiles del combustible y electricidad. Además, el impacto ambiental y las emisiones de  $CO_2$  de la EST son extremadamente bajas, lo cual contribuye al aumento en la producción de energía sustentable y también mitiga el efecto del cambio climático. La energía primaria es una energía natural no renovable.

#### 1.4. Aplicación de la energía solar fotovoltaica

En los sistemas aislados, es decir, en sistemas que no están conectados a la red eléctrica, la diversidad de aplicaciones de la energía fotovoltaica, es casi infinita. El alumbrado público mediante sistemas fotovoltaicos se presenta como

una de las soluciones más económicas para iluminar las entradas en los pueblos, cruces de carreteras, áreas de descanso.

Este tipo de aplicaciones fotovoltaicas también se pueden encontrar en carteles publicitarios, paradas de autobús, farolas de alumbrado público e iluminación de túneles entre otros.

- Señalización mediante energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica permite la automatización de faros, para el uso aéreo se están utilizando paneles para alimentación de balizas y carteles de señalización en las pistas. Faros y boyas de uso marítimo son otra gran aplicación en la señalización de rotondas, curvas, señales de tránsito, obstáculos, mediante leds de alta luminosidad.

El bajo consumo de *leds* permitirá realizar una instalación fotovoltaica de pequeño tamaño en estos sistemas. En este sentido, también hay ejemplos en indicadores de hora y temperatura en vías públicas, en paso a nivel de ferrocarriles o en plataformas petrolíferas.

Figura 5. **Señalización mediante energía fotovoltaica**



Fuente: BERNY, Albert. *Señalización mediante energía fotovoltaica*. <https://mediante+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica>. Consulta: 7 de julio 2018.

- **Sistemas fotovoltaicos relacionados con las telecomunicaciones**

En el campo de las telecomunicaciones la energía solar fotovoltaica se utiliza en los campos de la telefonía móvil, como en repetidoras de radio y televisión. En carretera los postes de SOS se podrían alimentar mediante este tipo de energía renovable puesto que se ahorraría el cableado de la red eléctrica. Los radares, la radiotelefonía en general y para militares o puestos de vigilancia forestal, la telefonía rural vía satélite, así también en torres de telecomunicación en donde la red eléctrica es muy inestable o donde no se cuenta con la energía eléctrica por las largas distancias o donde el acceso es muy complicado.

Este tipo de energía renovable ayudará a empresas de telecomunicación a que puedan expandirse en un mayor territorio en el país y así brindarles a sus clientes un mejor servicio de conectividad de llamada de voz de internet.

Figura 6. **Sistema fotovoltaico relacionado con la telecomunicación**



Fuente: BERNY, Albert. *Sistema fotovoltaico relacionado con la telecomunicación.*

<https://mediante+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica>. Consulta: 7 de julio 2018.

- Electrificación rural fotovoltaica

La electrificación rural actualmente dispone de todas las comodidades que se puedan tener en un sistema de electrificación convencional, esta paridad se debe a la incorporación de nuevos inversores de onda senoidal. Este sistema permite la utilización de cualquier electrodoméstico. Una de las aplicaciones más importantes actualmente es la electrificación de pequeños núcleos rurales con un sistema centralizado para gestionar la energía eléctrica.

Se instala en cada una de las viviendas un equipo electrónico limitador de energía eléctrica programado para suministrar diariamente energía eléctrica al usuario. Ahora bien, el equipo tiene que ser altamente inteligente como para aumentar la energía eléctrica asignada ya que, si el estado de la batería es bueno o malo, otro inconveniente sería la potencia del inversor y su rendimiento frente a pequeñas cargas.

- Aplicación de la energía solar fotovoltaica en explotaciones agrícolas y ganaderas

En las aplicaciones ganaderas de la energía solar fotovoltaica se utiliza para alimentar bombas para proporcionar agua en los abrevaderos del ganado, la energía fotoeléctrica se aprovecha también en las granjas a menudo que se encuentran alejadas de las líneas de distribución eléctricas, los paneles fotovoltaicos permiten en estos casos electrificar las granjas.

Se utiliza energía fotovoltaica para alimentar los sistemas de ordeño y la refrigeración de leche e incluso estos sistemas resultan prácticos para electrificación de cercas.

Una de las aplicaciones con mayor importancia en la agricultura son los bombeos de accionamiento directo. De esta aplicación destaca su sencillez de su instalación y su automatización.

Estos sistemas están compuestos por un campo de paneles fotovoltaicos, un equipo electrónico y todo el sistema de controles y sensores del bombeo. Por lo que se destaca en la agricultura la electrificación de controles de riego y electroválvulas.

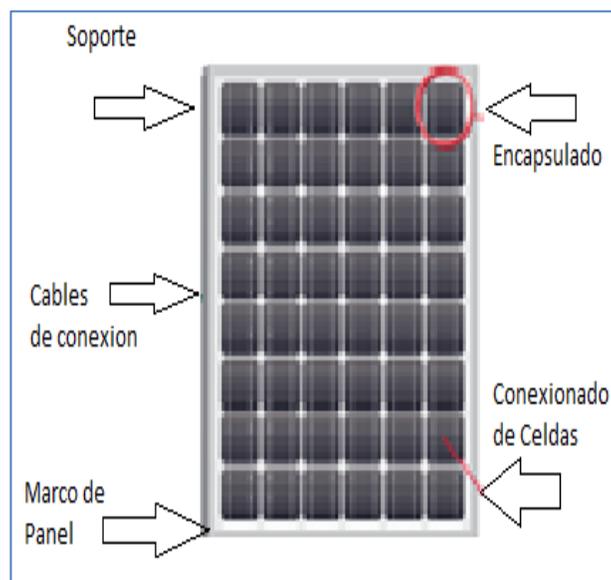
Esta electrificación ha permitido una mejor distribución y ahorro del agua fundamentalmente sistemas basados en el riego por goteo o a baja presión. Con esto se hace un aporte al ahorro de agua y al mejoramiento al calentamiento global y al cambio climático.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS HÍBRIDOS POR IMPLEMENTAR

- Paneles solares

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V) que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

Figura 7. Partes que componen un panel solar



Fuente: BCV. *Partes que componen un panel solar*. <https://bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

Consulta: 25 de diciembre 2018.

- Banco de baterías

Los bancos de batería son un elemento de vital importancia ya que son una fuente de alimentación de corriente directa permanente para sistemas de protección, telecomunicaciones, señalización y equipos de operación de desconexión automática.

Los bancos de baterías requieren de una puesta en servicio precisa, un mantenimiento continuo, pruebas y mediciones en operación. Un banco de baterías bien instalado y mantenido deberá tener una vida útil de 10 a 15 años operando confiablemente. Las baterías actúan como fuente de corriente continua (CC); en las aplicaciones estacionarias están en carga flotante, es decir, conectadas permanentemente a una fuente de corriente continua para asegurar que disponen de toda su capacidad en el momento que se precisa.

Un ejemplo claro de su aplicación es en el área de telecomunicaciones, los centros de procesos de datos, el transporte y la distribución de energía eléctrica. Pero también puede tratarse de equipos como los sistemas de alimentación ininterrumpida con un rango de potencias desde unos pocos vatios hasta megavatios. Este tipo de actividades tiene que estar operado las 24 horas del día los 7 días de la semana, todos los días del año, aquí el banco de baterías adquiere una especial importancia porque es la fuente de energía de los sistemas de reserva o emergencia de estas aplicaciones, por lo que se requiere de una alta fiabilidad de suministro eléctrico.

Figura 8. **Banco de baterías**



Fuente: Amper. *Banco de baterías*. <http://www.amperonline.com/banco-de-bater%C3%AD>.  
Consulta: 25 de diciembre 2018.

- **Motogenerador**

Un motogeneradora (MG) es un equipo cuya utilización está indicada para aplicaciones que requieran mayor potencia y para un funcionamiento continuo. Estos equipos convierten el combustible en energía eléctrica, a través de la combustión del diésel. Este tipo de combustible, en comparación con otros como la gasolina, por ejemplo, se quema a una temperatura más alta, por lo tanto, más eficiente y garantiza mayor potencia para el generador los motogeneradores diésel requieren un mantenimiento regular para que funcionen correctamente.

El motogenerador (MG) es impulsado hacia el interior hasta que sea comprimido, posteriormente se inyecta el diésel, la combinación de estos dos

procesos contribuirá a generar calor intenso que desencadena la inflamación del combustible.

De esta forma entra en combustión y hace que el generador entre en funcionamiento, por lo que el MG comienza a producir energía eléctrica necesaria para ser distribuida en función a las necesidades de los equipos conectados.

Se puede destacar que los MG diésel pueden tener un uso bastante amplio, ya que estar conectados durante horas, semanas o simplemente, hasta que vuelva la energía eléctrica. Para ello se debe asegurar que está convenientemente abastecido para que pueda cumplir su función.

Figura 9. **Motogenerador**



Fuente: Grupel. *Motogenerador*. <https://Moto+generador+diesel+16kw&oq=Moto+generador+diesel>. Consulta: 25 de diciembre 2018.

## 2.1. **Panel solar**

Es el elemento principal de cualquier instalación de energía solar, es el generador que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir

directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. Una célula solar se comporta como un diodo, la parte expuesta a la radiación solar es N y la parte situada en la zona de oscuridad la P.

Las terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo. La cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz) mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor.

- Parámetros fundamentales del panel solar

Corriente de iluminación ( $I_l$ ) es la generada cuando el índice de radiación solar impacta sobre la célula, donde también se produce una corriente de oscuridad que es generada mediante la recombinación de los pares.

El electrón-hueco que se producen en el interior del semiconductor, en cual también se genera una tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Es la máxima tensión que se obtiene en los extremos del panel solar que se da cuando no está conectada a ninguna carga, es una característica del material con el que está construido el panel solar por lo que existirá una corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ). Será el máximo valor que podrá circular por el panel solar esto ocurrirá cuando sus terminales estén cortocircuitados.

Cuando el panel solar es conectado a una carga los valores de tensión e intensidad varían, existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima:  $V_m$  tensión máxima e  $I_m$  intensidad máxima que siempre serán menores que  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$ . En función de estos valores la potencia máxima ( $P_m$ ) que puede entregar el panel solar será:

$$P_m = V_m I_m$$

Esto permite definir un parámetro del panel solar que recibe el nombre de factor de forma (FF) y que se calcula mediante la fórmula:

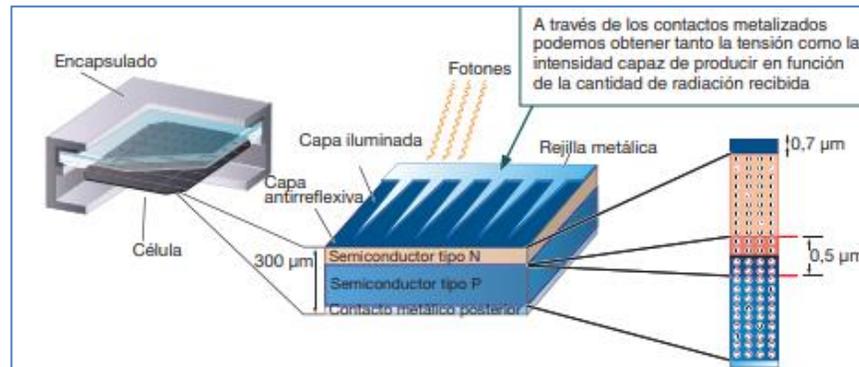
$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

El factor de forma es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar el panel solar a la carga y el producto de la tensión del circuito abierto y la corriente de corto circuito. En los paneles solares más habituales los valores típicos del FF son 0,7 o 0,8.

- Potencia de panel solar

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar, de 10 x 10 cm es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos elementos y características se acaban de conocer. Según la conexión eléctrica que se haga de las células es posible encontrar con las siguientes configuraciones. La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente. La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

Figura 10. Estructura de célula solar



Fuente: BCV. Estructura de célula solar.

<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>. Consulta: 25 de diciembre 2018.

### 2.1.1. Conjunto de paneles solares

Un conjunto de una instalación de panel solar consta de un acumulador, regulador un convertidor y uno o varios paneles solares compuestos de varias células solares. Estas últimas son las encargadas de producir energía eléctrica, durante el día por captación de la radiación solar la cual es almacenada en el acumulador. Un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales, transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica con un módulo o panel fotovoltaico.

Además, adecuadamente la energía eléctrica generada por medio de la batería, proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada a través del inversor y utilizar eficientemente la energía producida almacenada con las cargas de aplicación en el consumo.

En las telecomunicaciones y aplicaciones profesionales son unos de los mercados históricos de la energía solar fotovoltaica, el equipo utilizado en la mayoría de estas aplicaciones opera en DC, haciendo el acoplo a la energía DC FV simple y económico. El bajo tiempo de fallas en estos sistemas resulta terriblemente caro, por tanto, la fiabilidad es crítica.

Por otro lado, la modularidad y flexibilidad de los sistemas FV hacen que se pueda utilizar para alimentar desde el más pequeño de los sistemas de telemetría hasta el mayor de las repetidoras de microondas, situados en lugares muy remotos e inaccesibles. También cabe mencionar las aplicaciones para radiocomunicaciones en zonas rurales aisladas. Como ejemplo de este tipo de aplicaciones se pueden citar las siguientes: repetidoras de microondas (radio, tv o telefonía), estaciones de telemetría y radioteléfonos.

Figura 11. **Conjunto fotovoltaico**



Fuente: Amper. *Conjunto fotovoltaico*. <https://conjunto+de+paneles+solares>. Consulta: 26 de diciembre.

### **2.1.2. Selección de panel solar**

Es preciso adaptar los paneles solares a las condiciones locales de irradiación y a la demanda energética del sistema, el generador fotovoltaico

debe poner a disposición la suficiente potencia, también en aquellos meses de poca irradiación solar para cubrir la necesidad de los consumidores conectados. Junto a las condiciones atmosféricas hay otro factor que determina la incidencia de la radiación sobre un captador solar, el movimiento aparente del sol a través de la bóveda celeste a lo largo del día y del año.

La tierra describe un movimiento de traslación alrededor del sol que sigue una trayectoria en forma de elipse, durante el movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma siempre el mismo ángulo de  $23,5^\circ$  con la perpendicular al plano de eclíptica. La potencia máxima o de pico es extraída de la celda que corresponde al producto del voltaje y la corriente, esta potencia es cero, tanto en circuito abierto como en cortocircuito de la celda.

Existe un punto máximo de la potencia denominado potencia pico el cual corresponde al valor que entrega la potencia en condiciones estándar de la radiación incidente. Los tipos de paneles vienen dados por la tecnología de fabricación de las células y son fundamentalmente; silicio cristalino (monocristalino y multicristalino) y de silicio amorfo.

- Panel solar de silicio monocristalino

Este tipo panel son típicos azules homogéneos y su conexión de las células individuales entre sí por medio del proceso Czochralski, este proceso es utilizado para obtención de lingotes de silicio monocristalino.

La fabricación se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro, este tipo de tecnología ofrece un rendimiento de laboratorio del 24 % y un rendimiento directo de entre 15 % - 18 %. Este tipo de paneles tiene la particularidad de que la forma de la célula solar en sus bordes están recortados

como una especie de chaflán y su color es un azul muy oscuro que visualmente se ve negro. Este tipo de panel es más eficiente que los de otro tipo de paneles que existen.

Las celdas monocristalinas se fabrican con bloques de silicio o ingots que son de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento y reducir los costes de cada celda solar monocristalina se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio y que les da esa apariencia característica. La vida útil de los paneles monocristalinos es mucho más larga de hecho, aunque el rendimiento en todos los paneles se reduce con temperaturas altas, esto ocurre en menor medida en los policristalinos que en los monocristalinos.

Figura 12. **Panel solar de silicio monocristalino**



Fuente: Sotysolar. *Panel solar de silicio monocristalino*. <https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>. Consulta: 27 de diciembre 2018.

- Panel solar de silicio policristalinos

Los primeros paneles solares policristalinos de silicio aparecieron en el mercado en 1981. A diferencia de los paneles monocristalinos en su fabricación no se emplea el método *Czochralski*. El silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado, posteriormente se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas. El proceso de fabricación de los paneles fotovoltaicos policristalinos es más simple, lo que redundaría en menor precio se pierde mucho menos silicio en el proceso que en el monocristalino.

Los paneles policristalinos suelen tener menor resistencia al calor que los monocristalinos esto significa que en altas temperaturas un panel policristalino funcionará peor que un monocristalino; además el calor puede afectar a su vida útil acortándola. La eficiencia de un panel policristalino se sitúa típicamente entre 13 % -16 % debido a que no tienen un silicio tan puro como los monocristalinos, mayor necesidad de espacio se necesita para cubrir una superficie mayor con paneles policristalinos que con monocristalinos.

Figura 13. **Panel solar de silicio policristalino**



Fuente: Sotysolar. *Panel solar de silicio policristalino*

<https://panel+solar+de+silicio+policristalino&oq=panel+solar+de+silicio+policristalino>. Consulta:

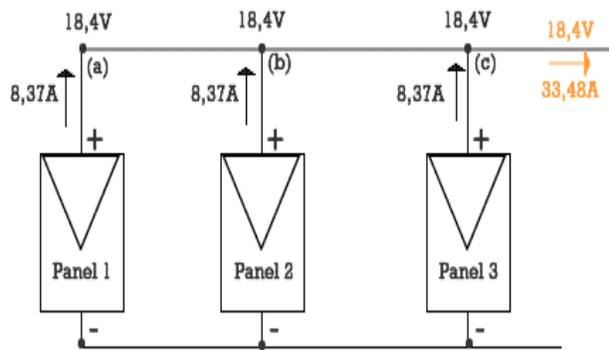
27 de diciembre 2018.

- Conexión en serie y paralelo

En la mayoría de proyectos fotovoltaicos, sobre todo, de las instalaciones solares aisladas y dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varias placas en serie o paralelo para obtener niveles de tensión y corriente deseado.

Para una conexión de paneles solares en paralelo se conectan todos los módulos por sus polos positivos y por separado por todos los polos negativos. Con esta conexión se consigue aumentar la corriente generada en la rama, pero se mantiene la misma tensión que da uno de los paneles solares que componen la rama.

Figura 14. **Conexión en paralelo de paneles solares**

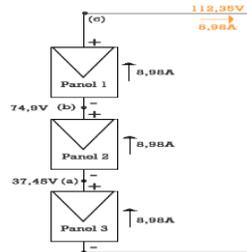


Fuente: Sfe-solar. *Conexión en paralelo de paneles solares*. <https://sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>.

Consulta: 27 de diciembre 2018.

Para una conexión de paneles solares en serie se conecta el polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente, así sucesivamente con los paneles que sean necesarios según el consumo, con esto se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada.

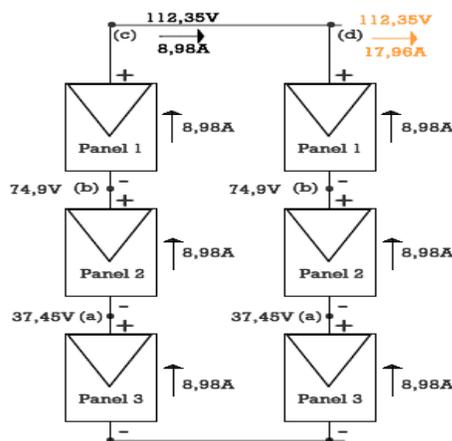
Figura 15. **Conexión en serie de paneles solares**



Fuente: Sfe-solar. *Conexión en serie de paneles solares*. <https://sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>. Consulta: 27 de diciembre 2018.

Para la configuración mixta conectada en paralelo y en serie, a su vez, se utiliza cuando se deben lograr unas corrientes y tensiones de salida muy determinadas y se juega con las opciones que dan los distintos tipos de conexión.

Figura 16. **Conexión mixta de paneles solares**



Fuente: Sfe-solar. *Conexión mixta de paneles solares*. <https://sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>. Consulta: 28 de diciembre 2018.

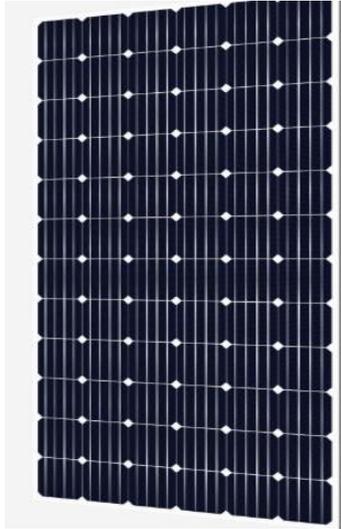
Al conocer el consumo eléctrico que se desea generar por medio de paneles solares se podrá determinar la cantidad de estos, así como sus características y los arreglos de conexión e instalación. Se considera cubrir 70,5 KW/H/DIA solo con paneles solares, por lo que se necesita considerar la eficiencia de operación de los equipos con los que trabajaran dichos paneles descritos de la siguiente forma:

- Eficiencia del panel por trabajo sometido a temperaturas altas = 90 %
- Eficiencia de las baterías con que cuenta el sistema = 85 %
- Eficiencia de cable conductor = 98 %
- Eficiencia del inversor con el que cuenta el sistema = 96 %

Los paneles solares que se citaron es un producto donde su fabricación corresponde a la empresa mexicana SAYA, los cuales fueron seleccionados por sus amplias y positivas características técnicas con las que cuentan.

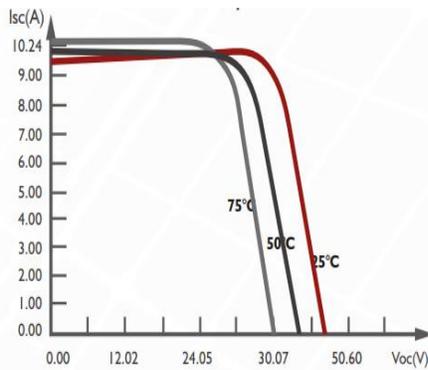
Se trata del modelo SAYA-B535-72, el cual es un panel solar con celdas de silicio bifacial cristalino de 72 células que tiene un área de  $1,92 \text{ m}^2$ , pesa aproximadamente 40 kg y será capaz de entregar una potencia máxima de 535W. Las especificaciones aplican a en condiciones estándar (STC), el nivel de irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$  con espectro AM 1,5 y temperatura de  $25^\circ$ .

Figura 17. **Panel solar SAYA bifacial cristalino 72 células**



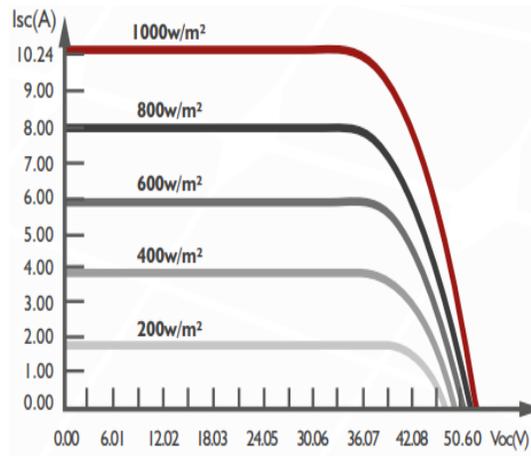
Fuente: Panelsolarmx. *Panel solar SAYA bifacial cristalino 72 células.*  
<https://panelsolarmx.com/contenido/productos.html>. Consulta: 28 diciembre 2018.

Figura 18. **Curva I-V de panel solar a varias temperaturas**



Fuente: Panelsolarmx. *Curva I-V de panel solar a varias temperaturas.*  
<https://panelsolarmx.com/contenido/productos.html>. Consulta: 28 diciembre 2018.

Figura 19. **Curva I-V de panel solar a varias radiaciones**



Fuente: Panelsolarmx. *Curva I-V de panel solar a varias radiaciones.*

<https://panelsolarmx.com/contenido/productos.html>. Consulta: 28 diciembre 2018.

### 2.1.3. Rendimiento de paneles fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos por sí mismo pueden presentar cierta deficiencia por su material y es cuando la temperatura ambiente es muy alta se vuelve deficiente de generación de energía eléctrica. El rendimiento de las células fotovoltaicas que se comercializan en la actualidad está comprendido entre un 15 % y 25 %, es decir, que solo una pequeña parte de la energía lumínica se aprovecha realmente en forma de energía eléctrica.

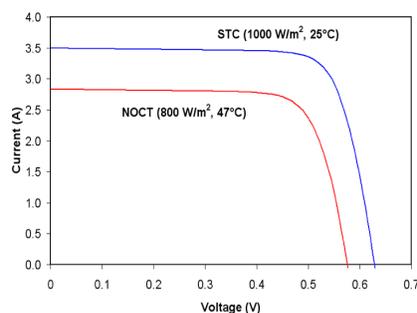
El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo se da una disminución considerable en la proporción de la tensión, una radiación de 1 000 W/m<sup>2</sup> es capaz de calentar un panel al menos 30 grados por encima de la temperatura del aire circulante, lo que reduce la tensión en:

$\frac{2mV}{(célula \cdot grado) \cdot 36 \text{ células}} \cdot 30 \text{ grados} = 2,16 \text{ voltios}$  y, por lo tanto, la potencia en un 15 %.

Paneles cristalinos son compuestos de celdas individuales cada celda produce según tipo y radiación solar un voltaje de entre 0,35V y 0,65V un panel por ejemplo de 12 voltios contiene 36 celdas conectadas en serie logrando un voltaje nominal aproximadamente 18 voltios suficiente alta para cargar baterías de 12 voltios también bajo condiciones difíciles. En la realidad la temperatura de la célula es más elevada de lo que indica cualquier fabricante, con lo cual su eficiencia cae al aumentar la temperatura en una proporción aproximada de  $TK = -0,44 \% \text{ } ^\circ\text{C}$  reduciendo la potencia del panel aproximadamente un 15 %.

Las celdas fotovoltaicas los alternadores de las centrales productoras de electricidad y todo lo que tiene relación con la electricidad está sometido a los efectos negativos del incremento de la temperatura. En valores de porcentaje la pérdida de potencia de un sistema eléctrico es considerable, pero si se considera a nivel global se puede asumir giga vatios por efectos de la temperatura en instalaciones que aunque tuvieron una inversión menor respecto de inversiones para sistemas de energía renovable las pérdidas se hacen cuantiosas.

Figura 20. **Curva de rendimiento de panel fotovoltaico**



Fuente: Deltavolt. *Curva de rendimiento de panel fotovoltaico*. <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/panel-solar-cristalino>. Consulta: 2 de enero 2019.

#### **2.1.4. Funcionamiento interno de los paneles solares**

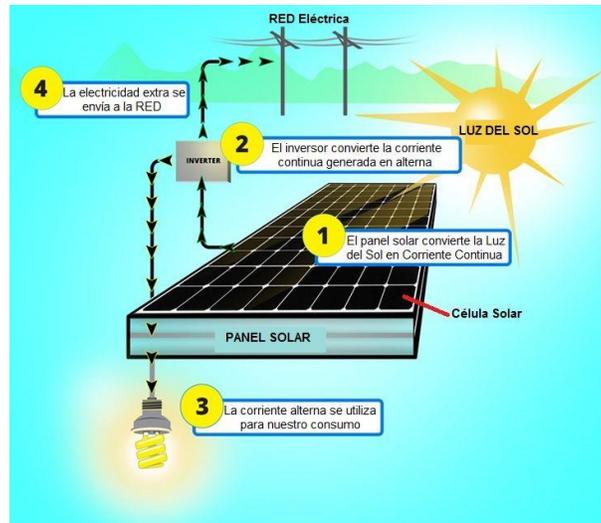
El funcionamiento de los paneles solares se basa en el efecto fotovoltaico que se produce cuando sobre materiales semiconductores convenientemente tratados incide la radiación solar produciendo electricidad.

En el momento en que queda expuesto a la radiación solar los diferentes contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que pueden romper la barrera de potencial de la unión P-N, y salir así del semiconductor a través de un circuito exterior.

Estas células fotovoltaicas se combinan de muy diversas formas para lograr tanto el voltaje como la potencia deseada y de este modo conseguir que la energía solar se acabe convirtiendo en energía que puede consumirse.

No en vano se entiende por célula fotovoltaica al módulo más pequeño de material semiconductor con unión P-N y con capacidad de producir electricidad. Se le denomina panel fotovoltaico al conjunto de células sobre el soporte adecuado y que posee los recubrimientos que protegen de agentes atmosféricos. Una instalación fotovoltaica consta de cuatro partes las cuales son: panel solar, acumuladores, regulador y convertidor.

Figura 21. **Panel solar interno**



Fuente:RODRÍGUEZ, Ernesto. *Panel solar interno*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>. Consulta: 2 de enero de 2019.

### 2.1.5. **Celdas fotovoltaicas**

Estas celdas están fabricadas de silicio un elemento de alta abundancia en la naturaleza clasificado como metaloide o anfótero por sus características medio metálica y medio no metálica con mucha estabilidad tanto física como química. El átomo de silicio (Si) indica que tiene el número de valencia 4 o sea que el referido átomo de silicio tiene 4 electrones en su orbital más externo.

Entre los materiales contaminantes se tiene el fósforo (P) elemento no metal, con versatilidad química y cuyo átomo tiene 5 electrones en su orbital más externo el cual al combinarse con el silicio le confiere un electrón razón por la cual se obtiene silicio negativo. De forma similar se añade también como impureza, aluminio (Al) con comportamiento metálico y con 3 electrones en la capa más externa, lo que propicia al átomo de silicio la carga positiva.

Los semiconductores conocidos como celdas fotovoltaicas son capaces de generar cada una de ellas una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 voltios utilizando como fuente de energía la radiación luminosa. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula), el resto es capaz hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcionan a la radiación incidente la capa antirreflejo aumenta la eficiencia de la célula.

Generalmente una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada con una superficie aproximadamente igual a  $100 \text{ mm}^2$ . Actualmente, el material más utilizado es el silicio monocristalino que tiene prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

#### **2.1.6. Regulador de voltaje de carga**

El regulador de carga fotovoltaica es el dispositivo encargado de proteger la batería de los paneles solares frente a sobrecargas y a las descargas profundas, esto se logra a través del control constante sobre las baterías y la regulación de la intensidad de carga de la misma manera para así alarga su vida útil.

Otra cualidad del regulador de carga de voltaje que podría situarse más del lado cualitativo es que permite evaluar la calidad de la carga en cuestión. Por lo general, a los reguladores actuales se les introducen micro controladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico.

Su programación elaborada permite un control que es capaz de adaptarse a las diferentes situaciones de manera automática, dando lugar a las modificaciones manuales de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales.

Este nivel de flexibilidad es importante en un regulador de carga de voltaje debido a que no todas las instalaciones son iguales, existen diferencias sustanciales en relación con ellas y será importante tener una regulación que se adapte a las exigencias de cada instalación.

En un nivel más específico existen incluso reguladores que memorizan datos que dan a conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para obtener estos datos se consideran muchos factores diferentes como los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga y capacidad de la batería.

Una de las funciones más importantes es la regulación de las baterías la cual se logra a través de tres operaciones: igualación, carga profunda y floración, la regulación permite realizar de manera automática las cargas de igualación de las baterías tras un periodo de tiempo en el que el estado de la carga ha sido bajo, reduciendo por oposición el máximo gaseo en el caso contrario.

Tras la regulación y la igualación el sistema de regulación se permite la entrada de corriente de carga a las baterías sin interrupción hasta alcanzar el punto de tensión final de la carga. Alcanzando este punto, el sistema de regulación interrumpe la carga y el sistema de control pasa a la segunda fase que es la de flotación.

Al alcanzarse la tensión final de carga la batería estará alcanzando un nivel próximo al 90 % de su capacidad y en la siguiente fase se completará la carga. Con el fin de realizar la carga final de la batería el regulador de carga fotovoltaica establece una zona de actuación del sistema de regulación dentro de lo que se denomina buena flotación dinámica. La buena flotación dinámica es un rango de tensión cuyos valores mínimos y máximos se fijan entre la tensión final de carga y la tensión nominal.

Cuando se alcanza el valor de voltaje de plena carga de la batería el regulador de carga fotovoltaica inyecta una corriente pequeña con el fin de mantenerla a plena carga, esto quiere decir que inyecta la corriente de flotación. Esta corriente se encargará, entonces, de la batería a plena carga y cuando la energía no se consume se empleará en compensar la autodescarga de las baterías.

Figura 22. **Regulador de voltaje de carga**



Fuente: Instalaciones autónomas. *Regulador de voltaje de carga*. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/instalaciones-autonomas/reguladores-carga>.

Consulta: 3 de enero 2019.

### **2.1.7. Entorno e instalación**

Los cuidados del entorno para las instalaciones son mínimos especialmente en Guatemala por ser un país tropical, en donde la radiación solar es casi constante todo el año, lo recomendable es realizar un diseño adecuado de aseguramientos para evitar en época de lluvia y con posibilidad de vientos huracanados donde los paneles solares estén debidamente asegurados.

El otro aspecto por considerar es que los paneles solares queden en lugares descubiertos y donde exista sombra u objetos cercanos que provoquen sombra sobre los mismos, aunque con la tecnología que se ha desarrollado en el transcurso de los años la presencia de la sombra permite generar energía en un 40 % de lo que se generaría con la parte directa que impacta la radiación solar.

Con esta implementación de generar energía eléctrica se disminuye la contaminación ambiental. Las energías renovables y reducciones de emisiones de carbono son actualmente la solución para evitar pasar la barrera de 1,5 grados del calentamiento global, la cual ocasionaría efectos muy negativos para el planeta.

Hace unos años, los proyectos de energía solar tenían rentabilidad a largo plazo entre 7 y 8 años. Actualmente, la inversión de estos proyectos se recupera en 4 años en promedio, generando un ahorro por los próximos 25 años de vida útil aproximadamente de un sistema solar. Además, el sistema híbrido que se propone puede reducir costos de la factura de electricidad hasta el 60 % mensual generando ventaja competitiva.

El costo energético en industrias representa hasta un 50 % de los costos operativos. Las tarifas eléctricas se incrementan constantemente cada periodo.

### **2.1.8. Inversor DC/AC y A/C/DC y principio de operación**

El inversor es una parte fundamental en la instalación fotovoltaica, ya que permite la conversión de la energía eléctrica generada en D.C. a electricidad de A.C. El diseño de un inversor debe permitir utilizar un rango muy amplio de tensión de entrada a partir del campo fotovoltaico, para proporcionar una gran flexibilidad de configuración y facilitar posibles ampliaciones futuras.

El inversor entrega una corriente a la red eléctrica con una onda senoidal idéntica a la propia de la compañía eléctrica suministradora y con un factor de potencia igual a 1 en cualquier condición de funcionamiento del equipo. La tensión generada por el inversor es senoidal y se obtiene mediante la técnica de modulación de ancho de pulsos.

Un micro controlador determinará el tipo de onda que se genera a partir de una tabla de valores disponibles en la memoria auxiliar del sistema. De esta forma se hace trabajar a los transistores *MOSFET* de potencia a una frecuencia de comunicación de 20 KHz, con lo que se consigue una forma de onda senoidal de muy baja distorsión menor del 1 % y con un contenido de armónicos bajos.

Puesto que la salida de los inversores está conectada a la red eléctrica, el sincronismo con que está es un aspecto fundamental en el funcionamiento del inversor, el control principal lo tratará de forma prioritaria realizando un seguimiento muy sensible a cualquier cambio en la red. Se realizará mediante

un circuito analógico que permitirá ajustes del sistema, mediciones de tensión, corriente y factor de potencia.

Para conseguir un rendimiento de la instalación el sistema de control de algunos inversores se deberá considerar inversores a un mayor costo y con la mejor tecnología presente. Trabaja continuamente el punto de máxima potencia (MPPT) de las características de tensión-corriente de los paneles fotovoltaicos. Los inversores tienen 3 o 2 entradas de corriente continua las cuales se distribuyen una para el negativo, otra para el positivo, además una toma de puesta de tierra y una salida de corriente alterna con dos cables, uno para el neutro y el otro para la fase.

Todo inversor que esté destinado a operar en el sistema fotovoltaico para conexión a red deberá cumplir con las siguientes especificaciones: ser del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica con una potencia de entrada variable para que sea capaz de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico pueda proporcionar a lo largo de cada día.

Las características básicas de los inversores serán las siguientes:

- Principio de funcionamiento, fuente de corriente.
- Autoconmutados.
- Seguimiento automático del punto de máxima de potencia del generador fotovoltaico.
- No funcionará en isla o modo aislado.

Los inversores cumplirán con las características de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética, se dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación y se incorporarán los controles automáticos

imprescindibles que aseguren su adecuada supervisión y manejo. Se seguirá entregando potencia a la red de forma continua en condiciones de irradiación solar de un 10 % superior a las condiciones estándar de medida, soportará picos de magnitud de un 30 % superior a las condiciones estándar de medida durante periodos de hasta 10 segundos.

Los valores de eficiencia al 25 % y 100 % de la potencia de la salida nominal deberían ser superiores al 85 % y 88 % respectivamente. El autoconsumo del inversor en modo nocturno ha de ser inferior al 0,5 % de su potencia nominal. El factor de potencia generada debería ser superior a 0,95 entre el 25 % y el 100 % de la potencia nominal. A partir de potencias mayores del 10 % de su potencia nominal el inversor deberá ser capaz de inyectar el excedente de la energía en la red.

Están garantizados para operaciones en las siguientes condiciones ambientales entre el 0 °C y 40 °C de temperatura y entre 0 % y 85 % de humedad relativa. De acuerdo con la aplicación que se le estará dando al sistema fotovoltaico se ha seleccionado el siguiente inversor de marca Power box XW12048 que es un inversor que ofrece una onda 100 % senoidal un tiempo de transferencia menor a 6ms con un regulador de voltaje incorporado. Cuenta con un cargador inteligente de 4 etapas variables desde 25 amperios a hasta 120 amperios, capaz de soportar una carga de 12 HP.

Un selector de baterías para uso con GEL, AGM, calcio, litio y abierta es ideal para protección de equipos médicos, de laboratorios y de telecomunicación, con un respaldo de hasta 16 horas de respaldo eléctrico MPPT opcional para controlador de carga a través de paneles fotovoltaicos una eficiencia superior al 90 % y controlado mediante microprocesador.

Figura 23. Inversor DC/AC y AC/DC



Fuente: Powerboxups. *Inversor DC/AC y AC/DC*. <https://www.powerboxups.com/wp-content/uploads/2017/12/PowerBOX-12048.pdf>. Consulta: 4 de enero de 2019.

## 2.2. Motogenerador

Los grupos de motogeneradores (MG) proporcionan estabilidad de alimentación para ordenadores y otros sistemas eléctricos sofisticados, también pueden efectuar conversiones de frecuencia, mantenimientos sencillos por parte de electricistas o mecánicos sin necesidad de una especialista, bajo contenido armónico en entrada y salida del grupo MG.

Desde el vacío hasta carga lineal completa tiene un aislamiento eléctrico completo con una alta capacidad de sobrecarga con un diseño sencillo, resistente que tolera caídas de tensión, picos y ruido eléctrico, proporciona un aislamiento completo desde la entrada a la salida y cuenta con autoventilación con un inductor independiente sin escobillas del motor síncrono que ajusta el factor de potencia de entrada del motor independiente del generador.

La motogeneradora está destinada a una gran variedad de funciones como proveedor de energía de reserva, suplementaria o de emergencia para diversas instalaciones de servicios auxiliares, alumbrado de emergencia, bancos, plantas industriales y torres de telecomunicación. Estas instalaciones presentan una diversidad de exigencias en cuanto a la escala de las potencias involucradas con la curva de carga al retardo admisible en la incorporación del suministro a su duración y a su confiabilidad, dando lugar a una gran cantidad de modelos que combinan múltiples tecnologías.

La motogeneradora está formada por un conjunto integrado que contiene un motor térmico primario, turbina de gas, motor diésel un generador eléctrico generalmente de corriente alterna acoplado con el mismo eje. Los correspondientes elementos auxiliares son sistemas complementarios como los distintos indicadores de estado, tableros de maniobra, tanques, radiadores, circuitos de lubricación, combustible, agua, eventualmente aire comprimido, excitatrices cargadores de baterías, equipos de control de tensión, frecuencia, automatismo de transferencia, protecciones de contra sobrecargas y cortocircuito.

### **2.2.1. Descripción del funcionamiento del motogenerador**

El motogenerador ha sido diseñado como una unidad autónoma para proporcionar un rendimiento y fiabilidad. Cada MG cuenta con una placa de datos donde se puede identificar sus características de operación como voltaje, fase, frecuencia y régimen de salida en KVA y KW tipo de clasificación nominal. El motor diésel que acciona el Mg ha sido seleccionado por su fiabilidad, es de tipo industrial de gran rendimiento de 4 tiempos e inyección por compresión dotado de todos los accesorios que le proporcionan un fiable suministro de potencia.

El sistema eléctrico del motor es de 12 o de 24 voltios dependiendo del tamaño del MG. El sistema de refrigeración del MG consta de un radiador con ventilador de gran capacidad y un termostato. El alternador tiene su propio ventilador interior para enfriar sus propios componentes internos; la salida de energía eléctrica se produce por medio de un alternador acoplado con presión.

A la salida de MG, el motor junto con el alternador están acoplados y montados sobre un bastidor de acero de gran resistencia, se le incorpora un depósito de combustible integrado o de polietileno excepto para MG más grandes 1 000 KVA y superiores.

El MG está dotado de unos aisladores de vibración diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el motor a los cimientos donde está instalado el MG. Estos aisladores están conectados entre la base del motor/alternador del bastidor. Como alternativa para los modelos con motorización 4 008, 4 012 y 4 016 el conjunto motor/alternador está rígidamente montado sobre el bastidor, los aisladores de vibración se suministran por separado para colocarlos entre el batidor y los cimientos.

Un silenciador de escape se suministra por separado para su posterior instalación en el MG el silenciador y el sistema de escape reducen la emisión de ruidos producidos por el motor conduciendo los gases de escape hacia salidas que no produzcan peligro. Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control al funcionamiento y salida del MG para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El alternador se protege mediante un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del MG. El factor de potencia es la relación entre la potencia real y la aparente; la potencia real también se conoce como potencia activa o KW.

La potencia aparente también se llama KVA. La potencia real KW es la salida de potencia mecánica del motor convertida en energía eléctrica y consumida por la carga; la potencia aparente KVA es la total producida por el MG.

### **2.2.2. Descripción de los componentes del moto generador**

La moto generadora está diseñado de tal modo que resulte una máquina segura siempre que se utilice de modo correcto, sin embargo, la responsabilidad de la seguridad queda en manos del personal que instala, utiliza y mantiene el MG antes de efectuar cualquier servicio o técnica de operación.

- **Motor**

Es el dispositivo encargado de suministrar de energía mecánica al alternador, los más usados generalmente son la turbinas de gas y los motores de combustión interna ciclo diésel.

- **Selección del combustible**

Al momento de seleccionar el tipo de combustible que va a alimentar al motor del equipo deben tenerse en cuenta múltiples factores como:

- Disponibilidad
- Costo
- Precio inicial del equipo
- Costos de mantenimiento a largo plazo
- Reglamentos locales contra incendios

- Uso al que se destina

Los motores para MG pueden funcionar con gasolina, gas natural, gases manufacturados, gases licuados del petróleo y gas-oíl, hay también capaces de funcionar tanto con gasolina como gas con gas a los cuales se los denomina sistemas de carburación combinada. Los distintos combustibles poseen características diferentes, una de las principales es tener en cuenta la capacidad calorífica. En la tabla I se pueden observar las capacidades caloríficas de los distintos combustibles.

Tabla I. **Capacidad calorífica de combustibles**

No.	Combustible	Capacidad calorífica normal (Kcal)
1	Gas manufacturado (de carbón)	4 000 a 7 100 Kcal/m <sup>3</sup>
2	Gas natural	7 600 a 9 800 Kcal/m <sup>3</sup>
3	Gas licuado del petróleo	22 300 Kcal/m <sup>3</sup>
4	Gasolina	7 600 Kcal/l
5	Gasoil	9 300 Kcal/l

Fuente: elaboración propia.

- Gasoil

Este es el combustible que se ha seleccionado para el abastecimiento de los MG, ya que tiene una alta potencia calorífica y es generalmente, el más económico. Los motores diésel son de combustión interna que usan el calor de compresión del aire para encender el combustible. Las presiones internas requeridas para generar el calor necesario son comparadas con los motores de gasolina, por esta razón las piezas de los motores diésel son más pesadas y

robustas. Además, requieren un servicio menos frecuente y, en general, duran mucho más que los motores de gasolina. Debe tenerse en cuenta que el arranque de este tipo de motores a bajas temperaturas puede precisar de ayudas especiales, cuenta con la ventaja de no ser un combustible explosivo.

- Escape de gases

Debido a que un motor en funcionamiento aspira, debe también espirar los productos de combustión que incluyen gases (algunos venenosos), vapor de agua y carbonilla una instalación de escape de gases bien proyectada es esencial para el funcionamiento correcto y eficiente de un motor de combustión.

En los tubos de escape debe evitarse al máximo toda pérdida de carga que produzca una excesiva contrapresión. Las contrapresiones altas afectan el rendimiento del motor y aumentan el consumo de combustible y la polución del aire. La vida del motor se acorta al ser más altas las temperaturas de combustión y las válvulas se deterioran más de prisa. Las contrapresiones excesivas pueden evitarse usando tubos de diámetro grande los más directos y cortos posible, con el mínimo número de codos.

El ruido de un motor puede ser molesto, pero hay en el mercado silenciadores de varios tipos para minimizar esta molestia. El nivel de sonido admisible o tolerable depende del lugar donde esté situado el motor y de los reglamentos locales. Un MG funcionando cerca de un hospital obviamente requiere de mayor grado de silencio que la misma máquina usada en una fundición. Las principales clases son como la industria, residencial y crítico.

- Regulación de velocidad de giro

Uno de los principales aspectos por tener en cuenta en la generación de energía eléctrica mediante Mg es el de mantener, tanto la tensión de salida como la frecuencia de salida. Lo más constantes posible obviamente a los valores que la carga requiera donde la tensión de salida es función tanto de la velocidad de giro del generador como de la corriente de excitación del campo del generador y la frecuencia es función solo de la velocidad de giro del generador.

Para ello, se cuenta con dispositivos de control electrónico y mecánico tanto para el motor de fuerza como para el generador de corriente eléctrica. El tipo de dispositivo de control dependerá de cada Mg, en particular de las necesidades de calidad de energía eléctrica de cada carga.

El regulador de velocidad (electrónico) que actúa sobre el motor controla básicamente, la alimentación de este en función de la velocidad, tensión y frecuencia de salida del generador. Es decir que, ante un régimen distinto del síncrono, el controlador actuará sobre la admisión del motor para llevar los parámetros nuevamente a los valores correctos.

El regulador electrónico que actúa sobre el generador llamados AVR (regulador automático de tensión) sirve para que ante la caída de frecuencia motivada por la aplicación de una carga de importancia la frecuencia se recupere rápidamente para volver a alcanzar los 60 Hz.

- Protección por baja frecuencia

Esta protección ayuda a evitar daños por sobre excitación en los bobinados y dispositivos electrónicos. En los momentos de arranque parada o falla del motor impulsor se mantendrá baja la tensión de salida, mientras la frecuencia esté por debajo del valor nominal.

- Límite de corriente

El AVR se puede parametrizar con distintas potencias de MG protegiendo de esta manera bobinados, semiconductores y limitando la potencia reactiva que este puede generar.

- Ajuste remoto

Permite al operador igualar las tensiones en el momento de sincronización para la entrada en paralelo con otras máquinas y efectuado este permite modificar la potencia reactiva que aporta este al sistema.

- Protección de las partes calientes

Rejilla de protección para las partes con temperatura elevada colector de escape en el motor diésel y partes de rotación, esto garantiza la seguridad del usuario durante el mantenimiento.

- Sobredimensionado del alternador

Esta protección es útil en caso de una instalación con importantes exigencias eléctricas o climáticas porque permitirá una mayor flexibilidad de funcionamiento para una mayor garantía de mantenimiento.

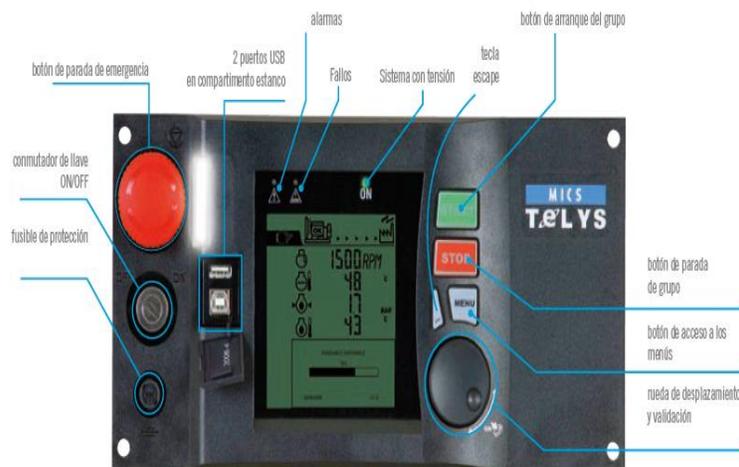
- Bomba de vaciado

Esta bomba permite un vaciado manual del aceite para facilitar el mantenimiento del Mg.

- Pantalla

Es una pantalla que brinda un contraste adaptada a todos los tipos de iluminación, visualización y control a distancia con posibilidad de envío de correos electrónicos, SMS o fax si se produce una alarma o una falla.

Figura 24. **Pantalla principal de moto generador**



Fuente: SDMO. *Proveedor de soluciones energeticas.*

- Funciones

Las funciones cumplen la mayoría de las exigencias legales y reglamentarias, cuenta con herramientas de diagnóstico incorporado para guiar al usuario en el momento de la aparición de alarmas y fallas. Cuenta con seguimiento integrado y visualización en pantalla de las próximas operaciones de mantenimiento.

- Conectividad

Cuenta con dos puertos USB en compartimiento estanco.

- Filtro primario decantador de diésel

Es un filtro primario que permite eliminar el agua que contiene el diésel o gasóleo para mejorar la protección del Mg.

- Filtro de cartucho intercambiable

Son filtros de aire seco de cartucho desmontable e intercambiable para ambientes polvorientos que pueden desmontarse y limpiarse mediante soplado.

- Kit de llenado automático

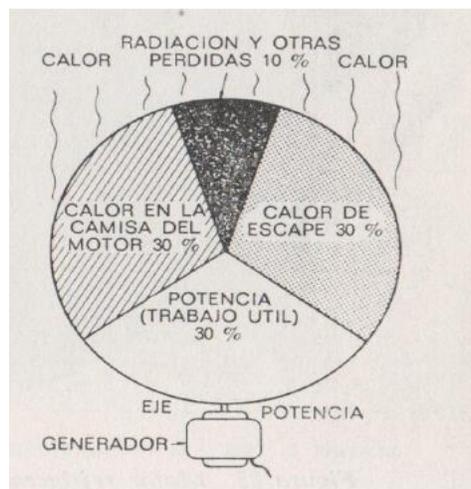
Ayuda con el llenado automático del depósito separado desde una cisterna externa la que incluye una bomba eléctrica de control automático por varilla indicadora con contactos de niveles. Así también una bomba manual de emergencia con posibilidad de uso prolongado sin llenar el depósito de diésel, particularmente adecuado para uso en zonas aisladas.

### 2.2.3. Descripción del sistema de enfriamiento del motogenerador

Respecto del sistema de enfriamiento se puede mencionar la forma de refrigeración que en la electricidad es una forma de energía producida, en este caso, por el combustible consumido por el motor-generador. Tan solo una parte de la energía que puede obtenerse del combustible produce electricidad, el resto se convierte en calor. En el sistema de refrigeración del motor se disipa una parte de la energía en forma de calor, otro tanto se va con los gases de escape y una fracción menor en pérdidas propias del motor, por ejemplo, fricción entre componentes mecánicos.

Se citarán los principales sistemas de refrigeración, cuyas elecciones dependerán de la economía y el uso al que se destina el equipo por ejemplo los MG portátiles, móviles y fijos de pequeño tamaño hasta 15 kW generalmente, utilizan motores refrigerados por aire.

Figura 25. Balance de energía



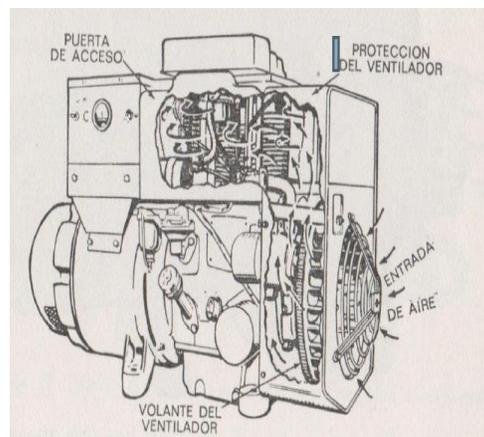
Fuente: SDMO. *Proveedor de soluciones energéticas.*

- Refrigeración con presión

Los MG portátiles son los que normalmente se utilizan en construcciones o por las cuadrillas de las compañías suministradoras. En las galerías de servicios llevan generalmente máquinas refrigeradas a presión, el aire es empujado hacia el motor a través de la parte frontal de la máquina y forzado a pasar por las aletas del bloque y la culata del motor.

Cuando se utiliza este sistema es indispensable disponer de aire de refrigeración en abundancia, conductos especiales permiten conducir el aire caliente fuera del motor.

Figura 26. **Sistema de refrigeración por aire a presión**



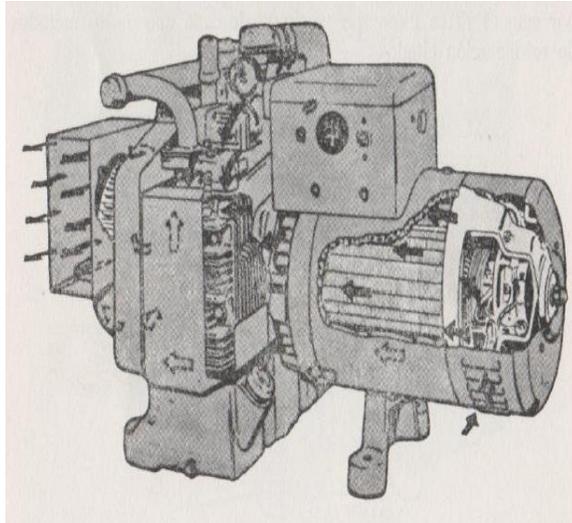
Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 6 de enero 2019.

- Refrigeración por aspiración

Las máquinas así diseñadas son especialmente útiles cuando el MG debe estar confinado en un espacio reducido, un ventilador centrífugo aspira el aire a

través del alternador y de las aletas de refrigeración del motor forzando a salir al aire caliente a través de un conducto.

Figura 27. **Sistema de refrigeración por aspiración**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 6 de enero 2019.

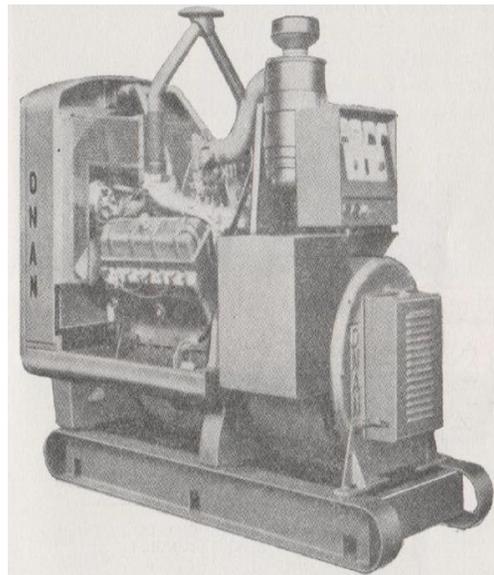
- **Refrigeración por agua**

Los llamados motores refrigerados por agua de tipo normal emplean un radiador montado en una misma bancada con el motor y el alternador con un ventilador soplante que manda aire a través del radiador desde el lado del motor. El agua de refrigeración del motor es forzada a pasar a través de los tubos del radiador por una bomba de agua para facilitar la salida de calor del lugar en que se ha instalado el equipo. Un conducto conecta el radiador con una abertura en la pared por la que se desea que salga el aire, o en un lugar abierto el agua de refrigeración debe llevar anticongelante. Si se prevé usar el equipo en lugares en que las temperaturas puedan disminuir por debajo de la de congelación del agua los sistemas refrigerados por radiador son los llamados sistemas cerrados de refrigeración.

Existen muchos tipos de refrigeración, por agua corriente se hace circular el agua a través del motor y una vez utilizada se vierte a un sumidero con esto se reducen grandemente las necesidades de aire de refrigeración, pero de todas formas se sigue necesitando aire para mantener la combustión un sistema de este tipo se denomina refrigeración por agua directa.

Desventaja del sistema de refrigeración directo es que el arranque de los motores diésel puede ser más fácil cuando una corriente de agua fría enfría el motor. Debido a que no hay medio de controlar la temperatura del agua en un sistema de refrigeración por agua directa, a menudo se recomienda usar un sistema modificado llamado refrigeración con depósito regulador, así el agua caliente procedente del motor y la nueva agua procedente de la tubería general de suministro se mezclan en el depósito regulador.

Figura 28. **Sistema de refrigeración por agua**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 6 de enero 2019.

- Lubricación

El consumo de aceite de lubricación depende de muchos factores es importante tener en cuenta que algunos motores consumen más aceite que otros el consumo total de aceite viene influido por las temperaturas de funcionamiento, estado del motor características de la carga eléctrica tipo de combustible consumido la viscosidad y el grado del aceite.

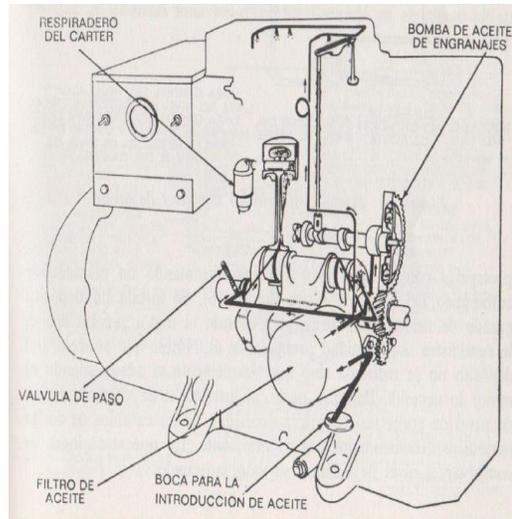
Tabla II. **Consumo de aceite en distintos tipos de motores según su potencia**

Potencia KW.	Motor gasolina	Motor diésel
30	2,4	4,3
45	3,8	6,2
65	6,7	9,5
85	7,9	18,9
115	18,9	18,9

Fuente: elaboración propia.

Los colectores de aceite en las máquinas portátiles tienen muy poca capacidad de reserva, por lo que si el grupo no está a nivel ciertas partes pueden no recibir la adecuada lubricación debido a la reducida capacidad del cárter. Debe revisarse frecuentemente el nivel de aceite en las máquinas móviles, tal como aconsejan los fabricantes, los motores portátiles baratos llevan frecuentemente el sistema de lubricación por barboteo. Las máquinas de una mayor calidad llevan, generalmente, el sistema de lubricación forzada.

Figura 29. **Sistema de lubricacion forzada**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 7 de enero 2019.

#### **2.2.4. Descripción de Instalación de motogenerador**

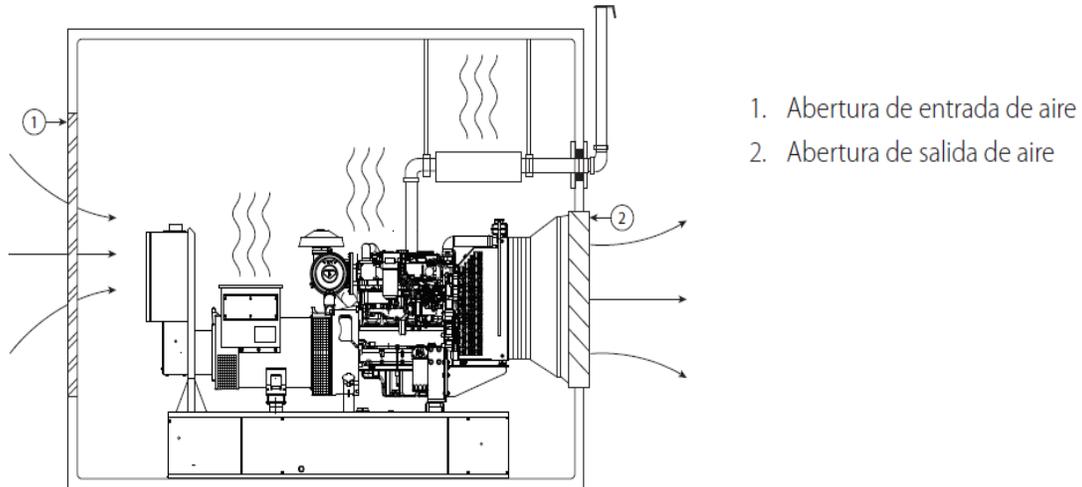
A continuación, se dará la descripción correcta de la instalación correcta de moto-generadores, así como las normas de seguridad que se deben contemplar para las instalaciones.

Escoger una ubicación para el MG que puede resultar la parte más importante del procedimiento de instalación, a la hora de hacerlo se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Ventilación adecuada.
- Protección ante elementos como puedan ser la lluvia, precipitación por viento, inundación de agua, luz solar directa, temperaturas bajo cero o calor excesivo.

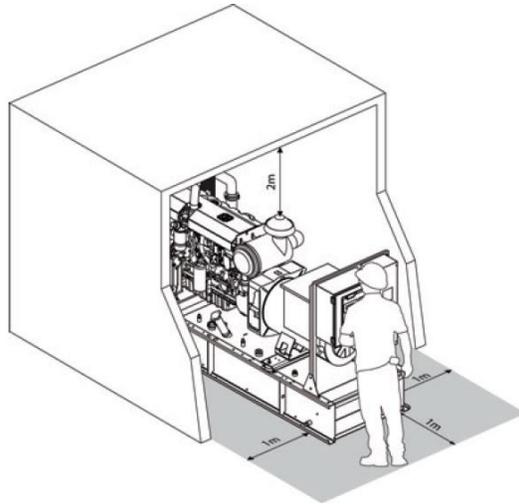
- Protección ante la exposición a contaminantes aerotransportados como puedan ser el polvo, el humo, la neblina de aceite, los vapores, humos de escape del motor u otros contaminantes.
- Protección ante el impacto de objetos que puedan caer como árboles o postes, ante vehículos de motor o carretillas elevadoras.
- Espacio alrededor del MG para refrigerar y como acceso para servicio: al menos 1 metro (3 pies con 3 pulgadas) alrededor del MG y al menos 2 metros (6 pies con 6 pulgadas) por encima del MG.
- Acceso para mover el MG entero dentro del espacio colocado, las ventilaciones de aire de entrada y salida a menudo se pueden retirar para ofrecer un punto de acceso.

Figura 30. **Ventilacion adecuada de moto-generador**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 7 de enero 2019.

Figura 31. **Instalación de moto-generador típico**



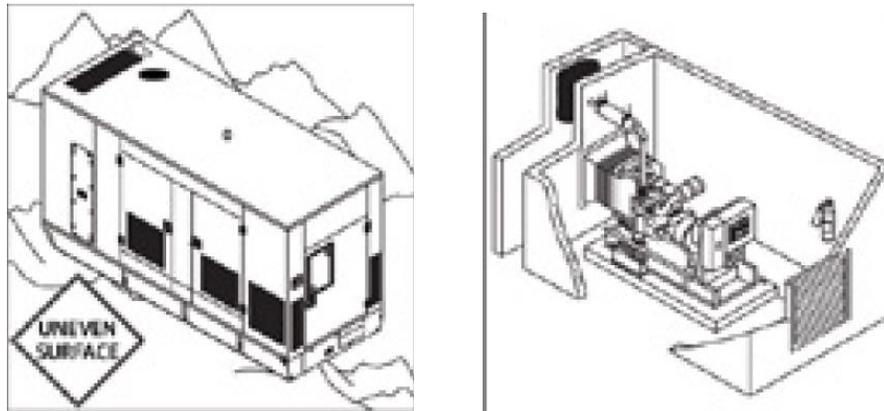
Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 7 de enero 2019.

- **Instalación en exterior**

La instalación y el manejo resulta mucho más fácil cuando el MG está equipado con una estructura fuerte: hay dos tipos de estructuras adecuados, el primero es una cubierta de estructura cerrada con características que ofrece protección contra la intemperie y una estructura insonorizada.

El otro tipo de estructura es la de tipo contenedor, con puerta de acceso parecido a un contenedor de mercancías, puede contar con protección contra la intemperie o con estructura insonorizada. Estas estructuras ofrecen un sistema del MG de fácil transporte y que requiere una instalación mínima, además, de manera automática protegen los elementos y evitan el acceso no autorizado.

Figura 32. **Estructuras adecuadas a motogenerador**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 7 de enero 2019.

- Transporte de motogenerador

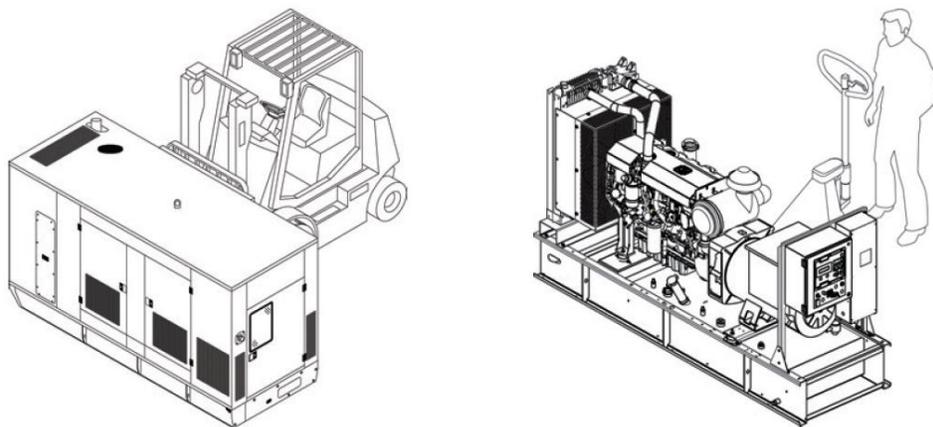
Antes de llevar a cabo cualquier tarea de movilización o instalación de moto-generadores, seguir los siguientes pasos:

- Mantenga a todo el personal que no sea necesario alejado de la zona.
- Cargue y descargue el embalaje en una superficie nivelada.
- Bloquee el vehículo de transporte para que el vehículo no se pueda desplazar.
- Mantenga la superficie del tráiler y las rampas limpias. Quitar la arcilla, aceite u otros materiales resbaladizos.

- Si se utilizan rampas, asegúrese de que tienen el tamaño y resistencia adecuados. Las rampas deben instalarse a la altura adecuada y el ángulo de las rampas debe ser bajo.
- Utilice la argolla de izado de la carena. Asegúrese de que todos los dispositivos de izado tienen la capacidad adecuada.
- Encadene o bloquee el embalaje de forma segura antes de transportarlo.
- Compruebe la altura y anchura del embalaje antes de transportarlo y el peso del embalaje para las limitaciones de carga.

La bancada del MG está diseñada especialmente para que el movimiento del Mg resulte fácil porque un manejo inadecuado puede dañar los componentes de forma importante. Utilizar siempre madera entre las horquillas y la bancada para repartir la carga, así también entre el carro de la carretilla elevadora como del lado de la estructura para evitar daños.

**Figura 33. Forma de transportar el moto-generador**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 7 de enero 2019.

- Aislamientos de bases y vibraciones

El motogenerador se suministra sobre una bancada rígida que alinea de manera precisa el alternador y el motor, solo necesita atornillarse a una superficie que esté bien preparada.

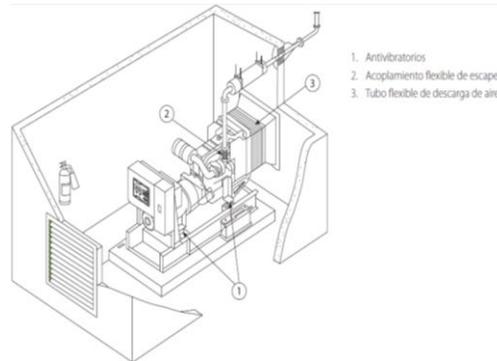
- Base

Un colchón de hormigón reforzado es la mejor base para el MG ofrece un soporte rígido para evitar la desviación y las vibraciones. Por lo que, la base debe ser de entre 150 mm y 200 mm (de 6 a 8 pulgada) de alto y al menos 150 mm (6 pulgada) más ancho y más largo que el MG. El suelo de la base se debe preparar bien y debe estar estructurado de manera que soporte el peso combinado del colchón de base y del Mg.

- Aislamiento de vibración

Para minimizar la vibración de motor que se transmite al lugar donde se instala el Mg viene previsto de anti vibratorios en los Mg de tamaño pequeño o mediano. Estos antivibratorios están ubicados entre el motor/alternador y la bancada. Esto permite que la bancada esté atornillada rígidamente a la base en el Mg más grande, el conjunto motor/alternador está cogido a la bancada rígidamente y los anti vibratorios se suministran sueltos para colocarlos entre la bancada. La base en todos los casos de los Mg se deben atornillar al suelo de forma segura, ya sea a través de la bancada o a través de los anti vibratorio para evitar el movimiento.

Figura 34. **Instalación de reducción de vibraciones**



Fuente: SDMO. Proveedor de soluciones energéticas. Consulta 7 de enero 2019.

### **2.3. Almacenamiento de energía (banco de baterías)**

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presentan variaciones por diferentes motivos, algunas de estas variaciones son predecibles como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras causas que pueden producir alteración de manera aleatoria en la energía recibida como puede ocurrir con un aumento de nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados, para ello se utilizarán las baterías o acumuladores.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica, el funcionamiento en una instalación fotovoltaica será la siguiente:

Energía eléctrica → energía química → energía eléctrica  
(Generada) (Consumida)

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares a través de un regulador de carga y pueden entregar su energía a la salida de la instalación donde será consumida, tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas.

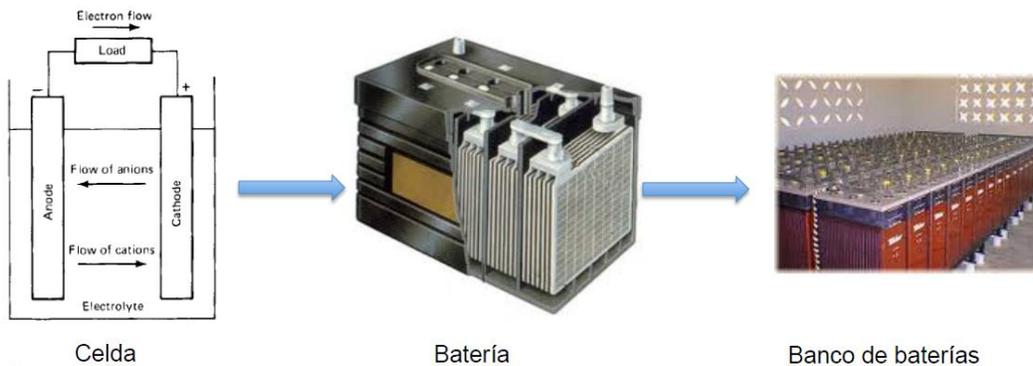
- Almacenar energía durante un determinado número de días
- Proporcionar una potencia instantánea elevada
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación

### **2.3.1. Principios operativos de una batería**

La batería es un dispositivo que convierte la energía química contenida en sus materiales activos en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica de óxido-reducción, el componente básico de la batería es una celda, la cual está compuesta por tres componentes que son los siguientes:

- El ánodo o electrodo negativo el cual proporciona los electrones al circuito externo y es oxidado durante la reacción electroquímica.
- El cátodo o electrodo positivo, el cual acepta los electrones del circuito externo y es reducido durante la reacción electroquímica.
- El electrolito o conductor iónico, el cual proporciona el medio para la transferencia de carga de los iones en el interior de la celda entre el ánodo y cátodo.

Figura 35. Principio operativo de la batería



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Principio operativo de la batería*

[http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf)

Consulta: 10 de enero 2019.

El mecanismo que permite la utilización de una batería como una fuente portátil de energía eléctrica es una doble conversión de energía llevada a cabo mediante el uso de un proceso electroquímico. La primera conversión de energía eléctrica en energía química tiene lugar durante el proceso de carga, la segunda energía química en eléctrica ocurre cuando la batería es descargada.

Para que estas conversiones puedan llevarse a cabo se necesitan dos electrodos metálicos inmersos en un medio que los vincule llamado electrolito. Este conjunto forma una celda de acumulación cuyo voltaje en una batería de plomo ácido excede levemente los 2 V.

Dependiendo de su estado de carga en el proceso electrolítico cada uno de los electrodos toma una polaridad diferente, la batería tiene, entonces, un terminal negativo y otro positivo los que están claramente identificados con los símbolos correspondientes (- y +). Se muestra la estructura interna y externa de una batería de Pb-ácido para automóvil donde se observa la conexión en serie

de las celdas, las cuales están físicamente separadas por particiones dentro de la caja que las contiene.

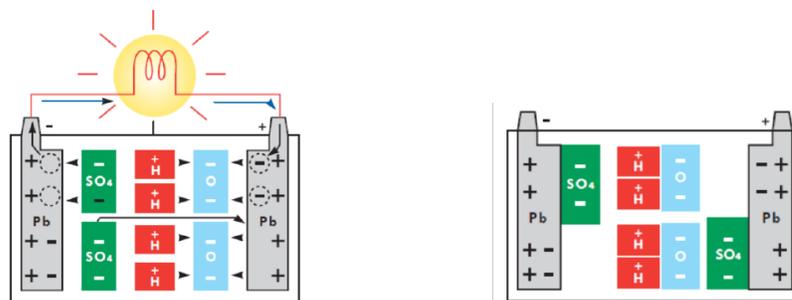
Cada celda está compuesta de varias placas positivas y negativas, las cuales tienen separadores intermedios, todas las placas de igual polaridad dentro de una celda están conectadas en paralelo. El uso de varias placas de igual polaridad, permite aumentar la superficie activa de una celda.

Figura 36. Partes internas de la batería



Fuente: Regenba, banco de baterías. *Partes internas de la batería*. <http://regenbat.com/funcionamiento-regenbat-regeneracion-baterias.php>. Consulta: 10 de enero 2019.

Figura 37. Descarga y carga de baterías de plomo-ácido



*Reacciones químicas de descarga:*

*Reacciones químicas de carga:*

Fuente: CIEP, banco de baterías *Descarga y carga de baterías de plomo-ácido*. [http://ciep.ing.uaslp.mx/njiccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njiccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta: 10 de enero 2019.

### 2.3.2. Clasificación general de baterías

Los tipos de baterías más comunes son los siguientes:

- Plomo-ácido (Pb-ácido)
- Níquel-cadmio (NiCd)
- Níquel-hidruro metálico (NiMH)
- Ion-litio (Li-ion)
- Polímero-litio (Li-poly)
- Aire-zinc
- Celdas de combustibles

Se dará una breve descripción de las baterías más comerciales y de las que se utilizará para una mejor eficiencia en el sistema híbrido que se está analizando.

- Batería plomo-ácido

Es el tipo de batería recargable más común por su buena relación de desempeño-costo aunque es el de menor densidad de energía por peso y volumen, este tipo de batería cuenta con varias versiones que son las siguientes:

- La versión *shallow-cycle* o de ciclo corto es usada en automóviles, en los cuales se necesita una corta explosión de energía que es forzada desde la batería para encender el motor.

- La versión *deep-cycle* o de ciclo profundo está diseñada para repetidos ciclos de carga y descarga, la mayoría de las aplicaciones requiere de este tipo de baterías.
  - La versión sellada *gel-cell* con aditivos los cuales vuelven el electrolito en un gel anti-derrames, está pensada para ser montada de lado o de invertido, pero su alto costo la limita a aplicaciones en aviones militares.
- Aplicaciones de la batería plomo-ácido

La batería plomo-ácido es en el momento actual imprescindible e insustituible, especialmente en automoción, pero también en muchas otras aplicaciones que exigen continuidad en el suministro de energía eléctrica.

- Automoción

Batería de arranque, iluminación e ignición (SLI por sus siglas en inglés) se destaca por su elevada potencia, de arranque si se necesitan únicamente ciclos superficiales y ligeros.

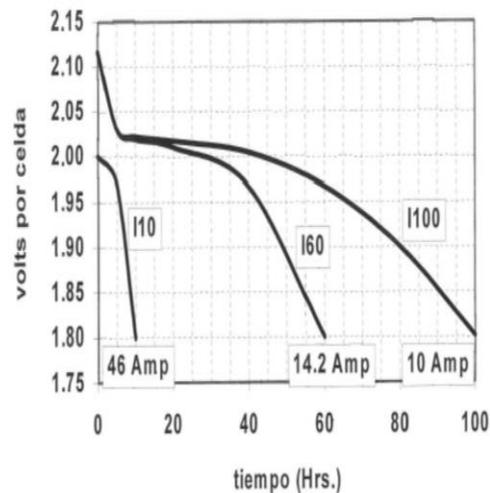
- Tracción

Una batería de tracción impulsa el movimiento de un vehículo eléctrico o híbrido eléctrico, se distingue de la batería de arranque en que permite alimentar el motor de arranque y el equipamiento eléctrico del vehículo.

- Industrial

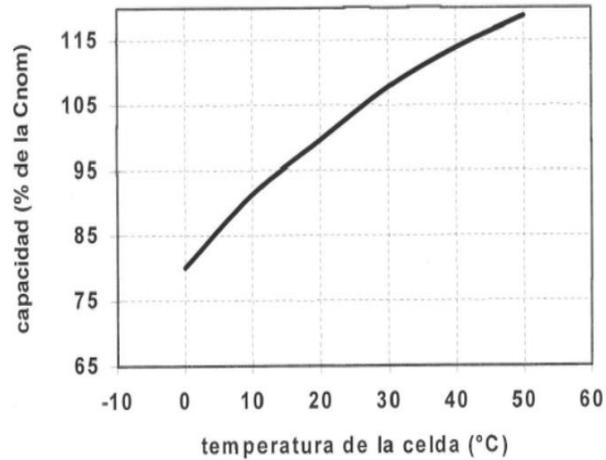
Las baterías industriales son aquellas que tienen condiciones de estrés mayores a las baterías comunes, se emplean principalmente en industrias altamente exigentes como minería, firmas cementeras y generadoras de energía fotovoltaica entre otras, si bien las baterías más frecuentemente usadas son las de plomo-ácido recargable.

Figura 38. **Capacidad batería plomo-ácido (amperio-hora)**



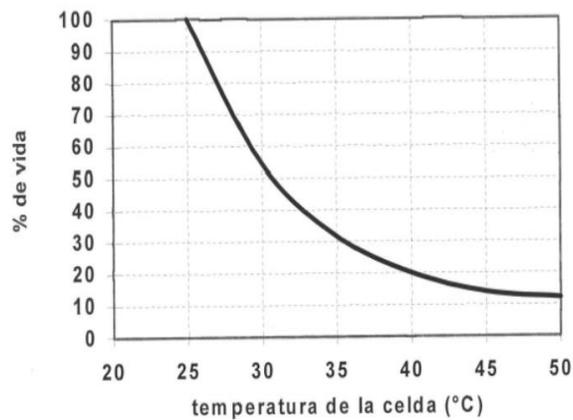
Fuente: CIEP, banco de baterías. *Capacidad batería plomo-ácido (amperio-hora)*.  
[http://ciep.ing.uaslp.mx/njiccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njiccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta: 10 de enero 2019.

Figura 39. **Variación de la capacidad de baterías plomo-ácido en función de la temperatura**



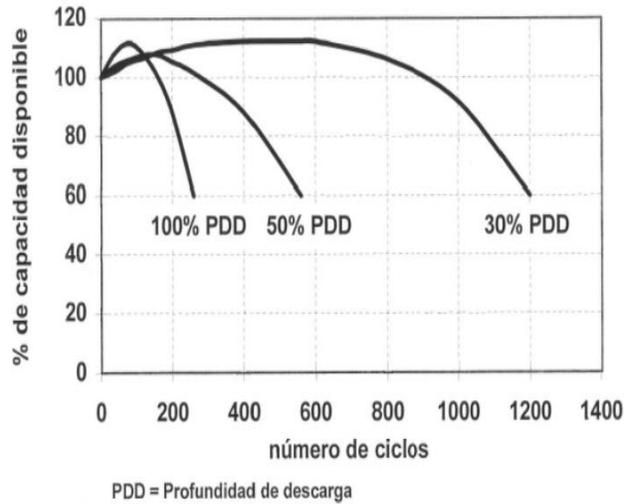
Fuente: CIEP, banco de baterías. *Variación de la capacidad de baterías plomo-ácido en función de la temperatura* [http://ciep.ing.uaslp.mx/njcccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njcccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta :10 de enero 2019.

Figura 40. **Efecto de la temperatura en la vida útil de la baterías plomo-ácido**



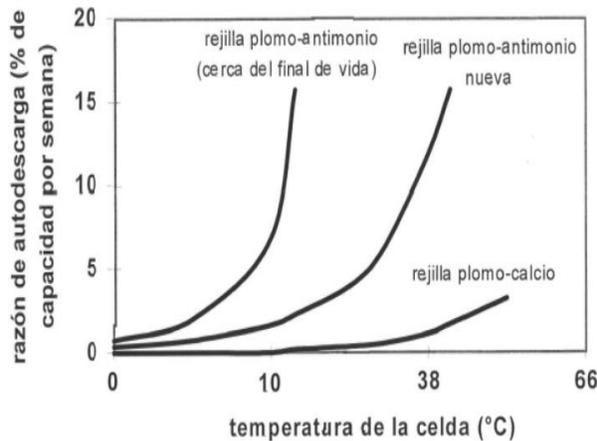
Fuente: CIEP, banco de baterías. *Efecto de la temperatura en la vida útil de la baterías plomo-ácido* [http://ciep.ing.uaslp.mx/njcccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njcccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta:10 de enero 2019.

Figura 41. **Efecto de la profundidad de descarga en la vida de las baterías de plomo-ácido**



Fuente: CIEP, banco de baterías. Efecto de la profundidad de descarga en la vida de las baterías de plomo-ácido. [http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta: 10 de enero 2019.

Figura 42. **Razones de autodescarga de baterías de plomo-ácido**



Fuente: CIEP, banco de baterías. Razones de autodescarga de baterías de plomo-ácido. [http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta: 10 de enero 2019.

- Bateria ion-litio

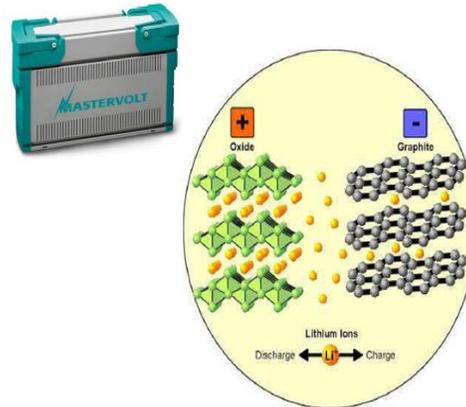
Es de una nueva b tecnología la cual ofrece una densidad de energía de 3 veces la de una batería plomo-ácido. Esta gran mejora viene dada por su bajo peso atómico 6,9 vs. 209 para la de plomo, además cuenta con el más alto voltaje por celda 3,5 V, lo cual reduce el número de celdas en serie para alcanzar cierto voltaje, lo que reduce su costo de manufactura cuenta con una muy baja tasa de auto descarga.

Rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión requieren en su configuración como producto de consumo la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones.

Una de las aplicaciones para las baterías Ion-litio es su uso popularizado en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores portátiles y lectores de música.

Las baterías de Ion litio, al ser más compactas permiten manejar más carga, lo que hay que tener en cuenta para lograr automóviles eléctricos prácticos. El ánodo es óxido de litio y el cátodo es carbón durante la carga iones de litio son extraídos del ánodo e insertados en el carbón durante la descarga se lleva a cabo la reacción inversa.

Figura 43. Principio de las baterías de Ion-litio



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Principio de las baterías de Ion-litio.*

[http://ciep.ing.uaslp.mx/njiccontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njiccontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta: 10 de enero 2019.

- Batería de aire-zinc

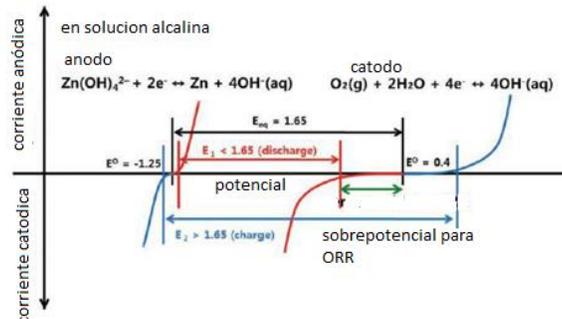
Con una fabricación más barata y capacidades que pueden superar en 3 veces a las populares Ion de litio, las nuevas baterías de zinc-aire funcionan utilizando el oxígeno almacenado en un cuarto como electrodo, mientras la batería contiene un electrolito y el electrodo de zinc permite que el aire circule dentro de una caja porosa logrando la electricidad. Las pilas a base de zinc tienen como principal ventaja la posibilidad de ser recicladas sin límite, sin perder ni sus cualidades químicas, ni las físicas.

- Aplicaciones batería de aire-zinc

- La tecnología zinc-aire respetuosa con el ambiente encuentra su mejor aplicación en prótesis de oído, aparatos electrónicos portátiles y en el sector automotriz.

- Es probable que el futuro del coche eléctrico pase por el desarrollo de baterías más potentes de zinc-aire que sustituyan a las de iones de litio.

Figura 44. **Corriente frente a voltaje en baterías de aire-zinc**



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Corriente frente a voltaje en baterías de aire-zinc*  
[http://ciep.ing.uaslp.mx/njjcontrol/images/pdf/grandes\\_bancos\\_de\\_baterias.pdf](http://ciep.ing.uaslp.mx/njjcontrol/images/pdf/grandes_bancos_de_baterias.pdf). Consulta 10 de enero 2019.

### 2.3.3. Tecnología de la batería

Una batería es un dispositivo capaz de almacenar energía en forma electroquímica. Existen de dos tipos: baterías primarias y baterías secundarias.

- Baterías primarias

Se caracterizan de la conversión de energía química a eléctrica es irreversible, o sea después de que la batería se ha descargado completamente no se puede volver a cargar.

- Baterías secundarias

Estas baterías son conocidas por ser recargables ya que al descargarse pueden ser recargadas inyectándoles corriente continua desde una fuente externa. La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el número de vatio-hora (Wh). La capacidad (C) de una batería de sostener un régimen de descarga está dada por el número de amperio-hora (Ah).

- Corriente máxima

El número de amperio-hora (Ah) de una batería es un valor que se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante. Para baterías solares, por ejemplo, el procedimiento de prueba ha sido estandarizado por la industria una batería inicialmente cargada al 100 %, es descargada, a corriente constante hasta que la energía se reduce al 20 % de su valor inicial.

El valor de esa corriente de descarga es multiplicado por la duración de la prueba (20 horas es un valor típico), es el valor en amperio-hora (Ah) de esa batería. Si una batería tiene una capacidad (C) de 200 (Ah) para un tiempo de descarga de 20hrs, el valor de la corriente nominal es de 10 A.

Para eliminar ambigüedades algunos fabricantes especifican las baterías como un número fraccionario, por ejemplo, para  $C = 200$  (Ah) una de tipo  $C/20=10$  A quiere decir que la batería puede entregar 10 A por 20 horas.

- Profundidad de descarga

Es la cantidad de energía que puede extraerse de una batería, este valor está dado en forma porcentual. Si la batería entrega 600 Wh la descarga profunda es del 50 %. Cuando se efectúa la prueba para determinar la capacidad en amperio-hora (Ah) de una batería solar la descarga profunda alcanza el 80 %.

- Banco de batería

A continuación se muestran los grados de capacidad.

Tabla III. **Capacidad de banco de batería**

	<b>Ampla</b>	<b>Chilectra</b>	<b>Codensa</b>	<b>Coelce</b>	<b>Edelnor</b>	<b>Edesur</b>
Capacidad de batería Ah	50	100	150	200	250	400

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Nivel de tensión de banco de batería**

	<b>Ampla</b>	<b>Chilectra</b>	<b>Codensa</b>	<b>Coelce</b>	<b>Edelnor</b>	<b>Edesur</b>
Tensión nominal Vcc	125	125	125	125	125	220
Márgenes tensiones de trabajo	±10 – 15 %	±10-15 %	±10-15 %	±10-15 %	±10-15 %	±10-15 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Corriente de salida de cargador**

	<b>Ampla</b>	<b>Chilectra</b>	<b>Codensa</b>	<b>Coelce</b>	<b>Edelnor</b>	<b>Edesur</b>
Capacidad cargador rectificador (A)	15	30	50	100	150	200

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Características del cargador**

	<b>Ampla</b>	<b>Chilectra</b>	<b>Codensa</b>	<b>Coelce</b>	<b>Edelnor</b>	<b>Edesur</b>
Alimentación auxiliar Vac	220/127	380/220	208/120	380/220	220	380/220
Frecuencia Hz	60	50	60	60	60	50

Fuente: elaboración propia.

#### **2.3.4. Características constructivas**

- Batería

Todos los materiales poliméricos utilizados en las baterías deberán ser inertes, en relación con el electrolito deberán presentar estabilidad química frente al ácido o material activo, así como estabilidad dimensional frente a la temperatura.

- Recipiente contenedor

El vaso contenedor será de material plástico, construido en una sola pieza (inyectado), resistente a la acción de los electrolitos, con características térmicas y mecánicas que aseguren su indeformabilidad.

- Terminales

Los terminales positivos y negativos de la batería serán de plomo sin insertos de cobre, se identificarán mediante pintura o rótulo de forma indeleble e inalterable por agentes corrosivos.

- Válvula

Las válvulas deben ser de material inerte y resistente al electrolito del tipo VRLA (regulada por válvula).

- Barras de interconexión

Las barras de interconexión serán parte del suministro, estas deberán tener protección contra la corrosión, ser cubiertas con aislante para prevenir cortocircuitos durante el montaje además de tener alta resistencia mecánica y térmica.

- Estructura de almacenaje

Sera opcional el uso de estructura metálica o armario para alojar las baterías, en caso de ocupar estructura metálica esta deberá contar con el adecuado tratamiento anticorrosivo y antiácido el que será sometido a la aprobación del cliente. Constará de dos niveles en donde serán colocadas las baterías deberá tener fácil acceso a cada batería para el mantenimiento y control de tensión.

Para el caso del armario este será metálico, las baterías se montarán en los compartimientos inferiores sobre bandejas deslizantes de forma de que se

pueda acceder cómodamente a todas las baterías. El diseño del armario deberá garantizar la adecuada ventilación y temperatura de las baterías las dimensiones del armario deberán ser las adecuadas, para la cantidad y tipo de baterías ocupadas por el cliente.

- Cargador

El equipo cargador para bancos de batería podrá ser con tecnología a tiristores o por tecnología conmutada para esta última se aceptará la conexión en paralelo de cargadores para alcanzar la corriente de salida necesaria. El circuito de entrada estará protegido mediante un interruptor termomagnético de calibre adecuado.

Este interruptor no deberá actuar como consecuencia de la conexión del cargador a la red en ningún régimen de explotación ni por sobrecargas o cortocircuitos externos al cargador, este interruptor será bipolar con dos elementos activos el cargador limitará automáticamente su corriente de salida en caso de sobrecargas o cortocircuitos externos al equipo y funcionará permanentemente conectado con la batería y el consumo.

- Gabinete

El gabinete será de acero, para anclaje al piso autoportable de uso interior y con terminaciones fijas, ventanillas para la ventilación y evacuación de calor que emiten los disipadores. El acceso deberá ser por una puerta frontal con cubierta posterior removible; la entrada de los cables será posterior o por la parte inferior de este.

### **2.3.5. Características funcionales**

En los siguientes incisos se explica cada uno de sus características:

- **Batería**

El sistema de carga de la batería será de regulación automática con una primera etapa a intensidad constante seguida una segunda a tensión constante. El nivel de corriente y tensión de estas etapas será el recomendado por el proveedor la tensión final de los elementos después de la descarga. Con el cargador desconectado no podrá ser inferior al 85 % de tensión nominal. Durante el tiempo de autonomía la batería debe garantizar el suministro de la intensidad máxima de descarga permanente, sin que al final de este la tensión haya descendido por debajo de lo permitido por celda.

- **Cargador**

El cargador será implementado por tecnología de fuente conmutada o fuente tiristor-izada los cargadores serán de peso y volumen reducidos, estará protegido contra sobrecargas y cortocircuitos el sistema deberá disponer de un programa de flotación.

Los niveles de tensión para los diferentes programas o estados de carga de las baterías será el recomendado por el proveedor la duración de cada carga rápida automática será proporcional al decremento de carga soportado por la batería o bien será un tiempo prefijado cuando el paso a carga rápida sea por haber transcurrido el tiempo máximo programado de permanencia en flotación.

Se podrá realizar el cambio de programa de forma manual, en este caso la permanencia en el programa de tensión de carga rápida estará limitada automáticamente a un tiempo ajustable de forma que no se produzca sobrecarga de la batería, con la consiguiente pérdida inútil de electrolito.

El cargador deberá tener un módulo de regulación de tensión a la salida a fin de que las cargas no sufran una excesiva tensión por el hecho de que las baterías van a estar en estado de flotación o recarga. El cargador deberá contar con una unidad de control para comunicación remota de tecnología digital el cargador deberá contar con automatismo de compensación de la tensión de flotación por temperatura.

- Funciones opcionales

Con la demanda el cargador podrá incorporar las siguientes funciones:

- Capacidad de registro superior a diez sucesos que incluya fecha, hora, minuto, segundo, evento sucedido y valor de las magnitudes de entrada y salida en aquel instante.
- Comunicabilidad para modificación de los ajustes transmisión de eventos y registros de forma local y a distancia, la interfase física de comunicaciones dispondrá de aislamiento galvánico y permitirá la conexión *multidrop* el protocolo de comunicación de formato serán los que se definan para los sistemas integrados de control y protección.

### 2.3.6. Alarmas

- Alarmas locales

Para facilitar la supervisión del conjunto cargador-batería se dispondrá en la puerta del armario de un panel de control formado por un *display* unos pilotos unos pulsadores que permitan, como mínimo, realizar las siguientes funciones:

- Indicación de presencia de red (visual y contacto seco)
- Indicación de carga de flotación
- Indicación de carga rápida (visual y contacto seco)
- Indicación de anomalía en el cargador
- Lectura de la tensión del cargador o de la batería
- Lectura de la intensidad de salida del cargador
- Lectura de la intensidad del consumo
- Estado de carga de la batería en % de la capacidad nominal
- Cambio manual del programa de carga
- Polo a tierra

Para permitir la tele supervisión del equipo este dispondrá de tres alarmas externas mediante contactos libres de potencial conectado a la regleta de bornes de salida que indicarán de forma segregada:

- Ausencia de tensión de red
- Anomalía en el cargador (auto vigilancia)
- Fusión de uno de los fusibles de salida



### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS POR INSTALAR EN UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN

#### 3.1. Equipo GSM/CDM Y APM 200

Las características de los equipos son las siguientes:

- Equipo GSM

A lo largo de la evolución de las comunicaciones los celulares fueron apareciendo en diversos sistemas, pero al principio cada país desarrolló su propia tecnología, lo que provocó la aparición de incompatibilidades que limitaron el uso de los equipos y redujeron el mercado en zonas concretas.

Para resolver estos problemas, la CEPT (*Conference of European Post and Telecommunications*) formó en 1982, la organización GSM (*Group Special Mobile*, que más tarde pasaría a conocerse como *Global System for Mobile communications*), cuyo objetivo sería desarrollar un sistema celular estandarizado dentro de Europa.

- Eficiencia espectral.
- Roaming internacional.
- Costes económicos de los móviles y las estaciones base.
- Calidad de voz.
- Compatibilidad con otros servicios como los ISDN. (*Integrated Services Digital Network*).
- Capacidad de soportar nuevos servicios.

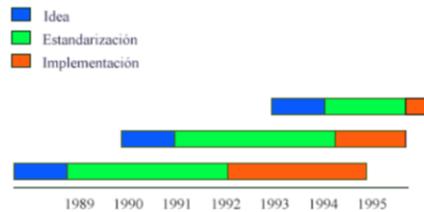
La responsabilidad de las especificaciones GSM pasaron de la CEPT a la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), el objetivo de las especificaciones GSM siguió centrándose en describir la funcionalidad y los interfaces de cada componente proporcionando así una guía para el diseño global del sistema. Estas especificaciones, una vez estandarizadas asegurarían la interconexión entre los diferentes elementos de la red. En 1990 fue publicada la fase I de las especificaciones, pero el uso comercial no empezó sino hasta mediados del 1992.

- Especificaciones GSM

El sistema GSM fue diseñado para ser una plataforma independiente, las especificaciones GSM no especifican requerimientos de tipo hardware, sino que describen las funcionalidades de las que debe disponer la red. Esto permite a los proveedores diseñar distintos productos que proporcionen las funcionalidades requeridas y, a la vez, hace posible que los operadores puedan elegir entre diversos equipos.

Las especificaciones GSM consisten en doce series, que fueron redactadas por diferentes grupos de trabajo (GSM, ETSI) actualmente es la ETSI quien coordina a los distintos grupos que trabajan en las futuras especificaciones. El lanzamiento del sistema GSM fue realizado en distintas fases, ya que las especificaciones no fueron finalizadas en el tiempo establecido, cada fase fue introduciendo mejoras y nuevos servicios basándose en la anterior.

Figura 45. Fases del sistema GSM



Fuente: Fundación GSM, comunicaciones móviles.

- Equipo CDM

La tecnología CDMA (acceso múltiple por división de código) es una de las tecnologías más fuertes en Guatemala, la mayoría de estas utiliza la banda PCS para su sistema. La tecnología CDMA emplea canales de 1,25 MHz; la tecnología GSM, canales de 200 KHz. En un ancho de banda de 15 MHz la tecnología CDMA puede alojar 11 canales, estos once hacen un total de 13,75 MHz, el resto de ancho de banda se comparte entre los extremos y no se usa, el objetivo de los extremos es funcionar como bandas de guarda para no provocar interferencia a sistemas contiguos.

Estos canales son utilizados por la tecnología CDMA. Esta tecnología asigna un código matemático único para cualquier tipo de información que se desee enviar a través de él. La información que viaja a través de este canal es de control y tráfico, el tráfico está constituido por la voz o datos. Estos tres tipos de información pueden viajar libremente a través de este canal, siendo reconocidos plenamente por el código que se les asignó. Dentro de este canal se multiplexa toda la información para ser enviada a su destino.

Realizando una analogía del canal usado en esta tecnología se supone una habitación en la cual se encuentran varias parejas, cada una habla un idioma único diferente a todas las demás dentro de la habitación, todas están hablando y cada una solo entiende lo que se habla entre ella y ve a todas las demás parejas como ruido. De esta forma se puede ejemplificar la transmisión simultánea a través del canal de banda ancha utilizado.

CDMA es una de las tecnologías más recientes en el mercado de las comunicaciones móviles, a pesar de su corta trayectoria en este mercado, esta tecnología ha entrado a dar una fuerte competencia a las tecnologías más conocidas. CDMA inicia su aparición en una segunda generación prestando servicios de voz y transmisión de datos a baja velocidad, evoluciona a una 2,5 generación aumentando la velocidad de transmisión de datos, en esta generación la transmisión de datos se realiza por paquetes, esta 2,5 generación tiene un aumento en la capacidad de manejo de voz.

La siguiente evolución, que es la tercera generación, incrementa en gran manera la velocidad de transmisión de datos. En poco tiempo se espera poder experimentar una cuarta generación de esta tecnología integrando voz y video en tiempo real. La evolución de CDMA muestra la tendencia de esta tecnología por mejorar la calidad y capacidad de sus servicios. Además de integrar a ella una variedad de servicios adicionales a esta tecnología como cualquier otra puede continuar evolucionando e integrando nuevos servicios, pero indiscutiblemente su servicio base son las llamadas de voz.

- Equipo APM 200

Los canales de control son utilizados para asignación de canales rastreo, mensajes y los canales de voz son utilizados para las conversaciones. Una banda de seguridad también se conoce como banda de guarda para 45 Mhz, está colocada entre el *Forward Link* y el *Reverse Link*, para evitar la interferencia entre ellos. Un equipo de radio adicional conocido como *Locate Receiver* (LR) es utilizado en las estaciones de base para localizar las MS que se encuentran al interior de la célula.

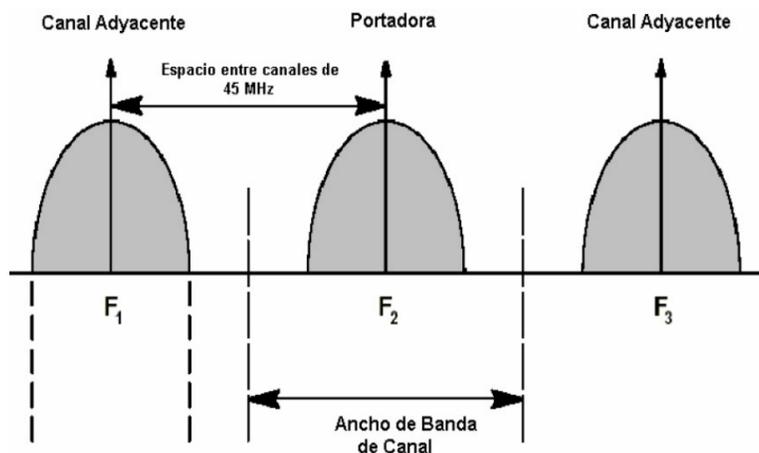
Este radio es usado como *scanning receiver* (explorador receptor) donde el transmisor es deshabilitado momentáneamente durante la prueba, se usa para medir la potencia con que las señales del móvil son recibidas sobre un comando receptor mandado desde el MTSO. Las medidas de la potencia de la señal son utilizadas para determinar la célula candidata para una posible transferencia de llamada (*handoff*). Es importante recordar que el sistema APM 200 fue diseñado para proporcionar un servicio de voz. Exclusivamente la transmisión de datos en el sistema APM200 se basa en la conmutación de circuitos.

Inicialmente el sistema APM200 contaba con dos bloques de 20 Mhz denominados A y B para lograr una comunicación full dúplex, lo cual es una transmisión simultánea que toma lugar en ambas direcciones en la banda de 800 Mhz que comprendía 824 Mhz a 844 Mhz para el *Reverse Link* y 869 Mhz a 889 Mhz para el *Forward Link*. Los canales del sistema APM200 son inseguros, ya que pueden ser afectados por interferencias que se traducen en sonidos de estática en la MS. Las señales analógicas no pueden ser corregidas cuando son afectadas por los desvanecimientos de múltiple trayectoria (*Multipath Fading*). Los terminales APM200 pueden operar en alguno de los siguientes

niveles de potencia. Una MS con tecnología AMP200 puede tener cuatro tipos de modulación diferentes las cuales son:

- Modulación de datos
- Modulación de voz
- *Supervisory audio tones (SAT)*
- *Signaling Tones (ST)*

Figura 46. **Espacio para evitar interferencia entre canales**



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Conceptos básicos APM en telefonía*.  
<http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf>. Consulta 15 de enero 2019.

### 3.2. Conmutadores analógicos y digitales

- Conmutadores analógicos

Una de las funciones básicas de la electrónica analógica no lineal es la conmutación analógica. Sus aplicaciones son muy amplias y van desde el multiplexado de señales analógicas en los sistemas de adquisición de datos

hasta la programación digital de ganancias o constantes de tiempo. Su uso cubre todos los campos en donde sea necesario el control electrónico de un conmutador y el nivel del conmutador analógico es muy bajo en el proceso de integración.

Donde lo usual es iniciar el diseño a partir de multiplexores analógicos que ya incluyen la función de conmutación junto con los circuitos de control adicionales necesarios para seleccionar cuál es la señal de entrada que en cada momento debe aparecer sobre el único canal de salida el circuito multiplexor incluye también un terminal para desactivar o activar cada canal seleccionado.

La aplicación más frecuente de los conmutadores analógicos es el multiplexado de varias señales analógicas sobre un mismo canal para la posterior conversión analógico-digital o para su transmisión. En este último caso se necesita realizar en la recepción, separación de los canales las distintas señales analógicas se presentan de forma sucesiva al circuito de muestreo y retención (*Sample/Hold*) bajo el control del procesador digital que abre de forma selectiva y cíclica los distintos canales. Tras el muestreo se da la orden de conversión al finalizar ésta, el procesador selecciona el siguiente canal continúa el proceso.

- Conmutadores digitales

Ya que los sistemas PCM operan en un ambiente digital, es de esperar que se empleen conmutadoras digitales para garantizar el correcto encaminamiento de las llamadas, la operación digital permite la deseada multiplexación en el tiempo necesaria para formar las tramas PDH, la conmutación digital aporta ventajas tanto económicas como técnicas.

Desde el punto de vista económico, se utiliza una cantidad notablemente inferior de puntos de cruce para un número dado de líneas en comparación con la conmutación espacial. Un conmutador PCM es de tamaño inferior y utiliza una cantidad reducida de circuitería.

Desde el punto de vista técnico, la conmutación digital es resistente al ruido, regenerativa y no distorsiona la señal de hecho, la señal de salida es más limpia que la de entrada. Está basada en el uso de ordenadores por lo que incorpora todas las ventajas del control por programa almacenado, además el formato del mensaje binario es compatible con las computadoras digitales y con la señalización digital.

También es importante notar que una central de intercambio digital no tiene pérdida no hay pérdidas por inserción como resultado de la adición de un elemento a la red. Un conmutador digital puede tener etapas de conmutación espacial (S) y de conmutación temporal (T) los conmutadores actuales tienen comúnmente una estructura TST, aunque también existe la variante STS. A continuación, se describen los conmutadores T, S y TST.

### **3.3. Estaciones de base transceptoras**

Los teléfonos móviles requieren una red de estaciones base para funcionar. Las antenas de las estaciones base emiten y reciben señales de RF (radiofrecuencia), u ondas de radio, desde y hacia teléfonos móviles cercanos a la estación base. Sin estas ondas de radio, las comunicaciones por móvil no serían posibles.

Las ondas de radio se llevan utilizando en las comunicaciones desde hace más de 100 años. La difusión por radio o televisión es un ejemplo bastante

conocido. Las antenas se colocan en diferentes ubicaciones. Normalmente, las antenas de las estaciones base se colocan en tejados o cubiertas, columnas o en paredes de edificios.

En ocasiones, también pueden instalarse en centros comerciales, aeropuertos, oficinas y otros lugares frecuentados por usuarios de teléfonos móviles las antenas interiores se colocan, por lo general, en paredes o techos.

Para más teléfonos hacen falta más estaciones base, cada estación base puede dar servicio solamente una cantidad limitada de teléfonos móviles a la vez. A medida que aumenta el número de usuarios de teléfonos móviles en una comunidad, se necesitan más estaciones base, por esta razón se necesitan más antenas en lugares concurridos como centros comerciales donde confluyen muchos usuarios de teléfonos móviles. No obstante, cuanto menor es la distancia entre las antenas de dos estaciones base más baja es la potencia de salida de cada antena.

La potencia de salida de las estaciones base es baja. Normalmente el nivel de potencia de salida de las antenas está entre 10 y 40 vatios para una estación base exterior. En comparación, los transmisores de televisión tienen por lo general una potencia de salida mil veces mayor que las estaciones base exteriores las antenas instaladas en el interior tienen aproximadamente la misma potencia que los teléfonos móviles.

Los límites de exposición son establecidos por organismos independientes organismos de expertos independientes han establecido los límites de exposición a las ondas de radio basándose en muchos años de investigación estos límites contemplan amplios márgenes de seguridad la Organización

Mundial de la Salud (OMS) entre otras recomienda límites de exposición que son adoptados por las autoridades nacionales.

Los niveles de exposición son muy inferiores a los límites, las antenas de las estaciones base dirigen las señales de radio en la dirección contraria al edificio o la columna. Para obtener cobertura en un área determinada la intensidad de las ondas de radio se reduce de forma drástica a medida que aumenta la distancia respecto de la antena de la estación base al nivel del suelo. En las casas y otros lugares en los que residen las personas los niveles de exposición provenientes de las estaciones base de radio están normalmente por debajo del 1 % de los límites establecidos.

El acceso público está restringido donde es necesario, solo a corta distancia de las antenas es posible que se sobrepasen los límites de exposición, en ocasiones el tamaño de esta área va desde unos pocos centímetros en las antenas pequeñas en interiores de edificios, hasta algunos metros en las antenas instaladas en columnas y tejados o cubiertas.

Las antenas se instalan de manera que las personas no autorizadas no tengan acceso al área en la que podrían sobrepasarse los límites, esto se hace así independientemente de si la estación base es parte de una red 2G (GSM), 3G o 4G (LTE). La OMS declara que de todos los datos acumulados hasta el momento, ninguno ha demostrado que las señales de RF producidas por las estaciones de base tengan efectos adversos a corto o largo plazo en la salud.

### 3.4. Equipo de transmisión de voz y datos

A continuación, se explican los componentes del equipo de transmisión.

- Multiplexores

El multiplexor es el equivalente lógico digital de un interruptor giratorio de varias posiciones tal como la llave que sirve para seleccionar las bandas en un receptor de radio. El multiplexor más sencillo es el BIPLEXOR empleado en los transmisores-receptores de RADAR para conectar alternadamente una misma antena al circuito emisor de ondas y al receptor de ondas reflejadas.

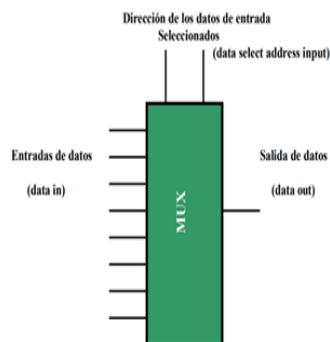
Un multiplexor típico en circuitos integrados es aquel que puede seleccionar una cualquiera de varias líneas de entrada y comunicar a una línea común de salida el nivel lógico que allí se encuentre. Mediante unas líneas auxiliares de control binario se le puede direccionar para que se estacione en determinada línea de entrada de datos (la primera, la quinta, séptima) con el fin de que aquellos sean comunicados a la línea de salida.

Un integrado multiplexor común tiene 8 entradas de datos (*bits*), tres entradas direccionadas (*address*) y una sola línea para salida de datos cuando la dirección 101 es aplicada al multiplexor. La entrada 5 es comunicada con la salida. Aprovechando el fenómeno conocido como persistencia visual se emplean con mucha frecuencia circuitos multiplexor en el manejo de los visualizadores numéricos de las calculadoras y relojes electrónicos portátiles, ya que así se logra disminuir el consumo de corriente, la cantidad de pines que deberían llegar hasta el circuito activador.

Por ejemplo, un despliegue estático de 3 dígitos led de siete segmentos tiene en total 24 pines (8 por cada dígito) y un consumo de corriente igual a la suma de lo gastado por cada segmento (en el caso de estar iluminado el número 888).

En el mismo caso un despliegue dinámico (multiplexado) tiene solamente 10 pines (7 líneas que unen en paralelo los correspondientes segmentos en cada dígito, y 3 líneas de salida individual por dígito (el cátodo o el ánodo común, según sea la polaridad del despliegue). El consumo total de corriente para iluminar el 888 sería aproximadamente igual al gastado por un solo dígito en la forma estática.

Figura 47. **Multiplexor**



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Tipo de multiplexores.*

<http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf>. Consulta 16 de enero 2019.

- **Módems**

El módem es un dispositivo que convierte las señales digitales procedentes de un emisor o fuente (por ejemplo, un ordenador) en señales analógicas, para su transmisión a través de un medio que puede ser un circuito telefónico o un circuito punto a punto, la expresión módem procede de las

palabras modulador-demodulador que son las dos funciones básicas que realiza ese dispositivo.

Los módems empezaron con modestas velocidades del orden de 300 *bit/s*. La aplicación de las nuevas tecnologías actualmente permite alcanzar velocidades de transmisión del orden de los Mbit/s. En toda comunicación mediante módem intervienen los siguientes elementos:

- El equipo terminal de datos ETD (DTE - *Data Terminal Equipment*).
- El módem o equipo de terminación de circuito de datos ETCD (DCE - *Data Circuit terminating Equipment*).
- La línea de transmisión que une los ETCD.

- Modo de transmisión

Asíncrono son los dos extremos tienen señales de temporización (o reloj) independientes, de la misma frecuencia nominal se transmite carácter a carácter precedido de un *bit 0* o *start* y terminado por 1, 1 '5 o 2 *bits 1* o *stop*, entre dos caracteres consecutivos puede mediar cualquier separación.

Síncrono es el módem receptor, utiliza el mismo reloj que el transmisor, consiguiéndose un sincronismo de bit perfecto esto implica que el emisor además de enviar datos envía la señal de reloj. Los módems normalizados de la UIT han normalizado una amplia gama de módem para facilitar la comunicación entre los usuarios, a nivel nacional e internacional esta normalización está contenida en las recomendaciones de la serie V.

Interfaces normalizadas son la definición de las características mecánicas, eléctricas y funcionales de la interconexión de dos equipos comunes para

módem son: la EIA RS-232-C y la UIT V.24, y aunque existen diferencias, se consideran equivalentes.

La recomendación V.24 especifica las características funcionales y de procedimiento la V.28 las eléctricas y la ISO 2110 las mecánicas. Los comandos de control del modem, en la mayoría, se controlan y responden a caracteres enviados a través del puerto serie, el lenguaje de comandos para modem más extendido es de los comandos *Hayes* que fue inicialmente incorporado a los módems de este fabricante existen dos tipos principales de comandos.

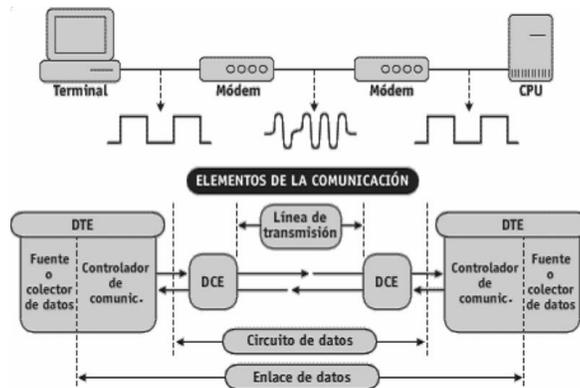
- Comandos que ejecutan acciones inmediatas (ATD marcación, ATA contestación o ATH desconexión).
- Comandos que cambian algún parámetro del modem (por ejemplo, AT\$7=90).

El modem está en estado de comandos, responde a los comandos que envía el ordenador, en este modo es posible configurarlo o realizar las operaciones de marcado y conexión. Antes de que se pueda enviar un comando al modem este debe estar en el estado de comandos.

Cuando el modem se conecta con otro modem pasa al modo en línea. En este modo cualquier información que reciba del ordenador será enviada al modem distante, no procesa la información y simplemente la trasmite a través de la línea de comunicación.

Para salir del modo en línea y pasar de nuevo al modo comandos se envía al modem +++ (petición de atención) precedidos por un segundo de inactividad.

Figura 48. Estructura de módems



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Principios de funcionamiento de Módems*.  
<http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf>. Consulta 16 de enero 2019.

- *Routers*

El funcionamiento de una red consiste en conectar computadoras y periféricos mediante dos partes del equipo: *switches* y *routers*. Estos dos elementos permiten a los dispositivos conectados a la red comunicarse con los demás y con otras redes. Aunque son muy parecidos, los *switches* y *routers* realizan funciones muy diferentes en la red. Los interruptores se utilizan para conectar varios dispositivos a través de la misma red dentro de un edificio.

Por ejemplo, un interruptor puede conectar sus computadoras, impresoras y servidores, creando una red de recursos compartidos. El interruptores actuaría de controlador permitiendo a los diferentes dispositivos compartir información y comunicarse entre sí mediante el uso compartido de información y la asignación de recursos; los *switches* permiten ahorrar dinero y aumentar la productividad.

El enrutador (*router*), direccionador, ruteador o encaminador es un dispositivo de hardware para interconexión de red de ordenadores que opera en la capa tres (nivel de red). Un enrutador es un dispositivo para la interconexión de redes informáticas que permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la ruta que debe tomar el paquete de datos.

- Radios

La modulación nace de la necesidad de transportar una información a través del espacio, este es un proceso mediante el cual dicha información onda moduladora se inserta a un soporte de transmisión, la onda portadora. La modulación de la portadora se puede realizar a nivel bajo o alto en el primer caso la onda con la información con una amplificación pequeña o nula sirve para modular la salida del oscilador y la frecuencia modulada de la portadora se amplifica antes de conducirla a la antena.

En el segundo caso, las oscilaciones de la onda portadora y la señal con la información onda moduladora se amplifican de forma independiente y la modulación se efectúa justo antes de transmitir las oscilaciones a la antena. Una portadora puede modularse de diferentes modos dependiendo del parámetro, amplitud o frecuencia, sobre el que se actúe.

Se modula en amplitud a una onda portadora cuando se hace variar a la amplitud o intensidad en función de la amplitud de la onda moduladora, esto es la amplitud de la información por transmitir, es la que varía la amplitud de la onda portadora.

Debido a que para barrer el rango de frecuencias audibles por el oído humano (20 Hz a 20 000 Hz) implicaría un ancho de banda muy grande, puesto

que este ancho de banda para una emisión está limitado. Esta clase de emisión se dedica a usos que no requieren gran calidad de sonido o en los que la información sea de frecuencias próximas entre sí, por otra parte en la recepción es difícil eliminar las interferencias producidas por descargas atmosféricas, motores, ya que el ruido modula en amplitud a la onda portadora contaminando la información transmitida.

La modulación por frecuencia consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad o amplitud de la onda de moduladora. La frecuencia de la portadora oscila según la onda moduladora, esto es, si se aplica una moduladora de 100 Hz, la onda modulada se desplaza de arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central, que es la portadora.

Además, el grado de esta variación dependerá del volumen con que se module la portadora, a lo que se denomina índice de modulación. Debido a que los ruidos o interferencias que se mencionaron anteriormente alteran la amplitud de la onda no afecta a la información transmitida en FM, puesto que la información se extrae de la variación de frecuencia y no de la amplitud.

Como consecuencia de estas características de modulación se puede ver cómo la calidad de sonido o imagen es mayor cuando se modula en frecuencia que cuando se hace en amplitud. Otros usos de la frecuencia modulada son la telefonía móvil servicios de comunicación y televisión. En este último caso, los sonidos se modulan en frecuencia y las imágenes en amplitud.

Las bandas de frecuencia más baja se reservan para las emisoras que transmiten en AM, mientras que las de FM transmiten sobre los 100 MHz. La única banda que está libre para cualquier uso (como radio control) y para

cualquier persona es la banda de los 27 MHz, pero debido a esto está bastante saturada, solo es conveniente utilizarla para practicar con montajes caseros y sistemas de poco alcance no más de 100 m.

Por lo general, se suele asociar a los radioaficionados con la onda corta, aunque tienen asignadas frecuencias en la banda de onda media la de muy alta frecuencia y la de ultra alta, así como en la banda de onda corta algunas conllevan ciertas restricciones pensadas para que queden a disposición del mayor número posible de usuarios.

### **3.5. Repetidoras y rectificadoras**

Para mayor claridad, se explican las distintas repetidoras y rectificadoras

- Repetidoras

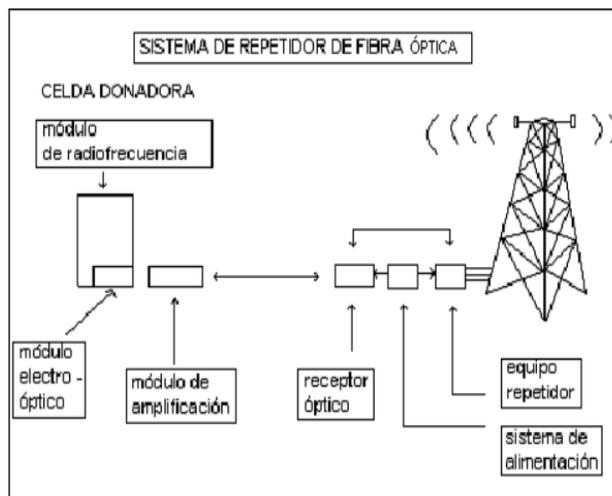
Existen dos tipos de repetidores CDMA, uno es el repetidor de aire, el cual tiene como medio de enlace la antena donadora; y el otro es el repetidor de fibra óptica, el cual tiene como medio de enlace la fibra óptica. Una repetidora de fibra óptica al igual que un repetidor de aire toma el piloto de un sector llamado donante de un sitio celda donador y lo amplifica extendiendo de esta manera la cobertura de la celda donadora.

Sin embargo, la forma en que este repetidor toma la señal del piloto de la celda donadora es mediante conexión directa utilizando un transceptor óptico, este se conecta al módulo amplificador de potencia de la celda donadora y por medio de fibra óptica la señal se lleva hasta el repetidor.

En el repetidor se convierte de nuevo en señal RF; en el repetidor la señal se amplifica y transmite a las antenas de servicio, las cuales dirigen la señal a las áreas de pobre cobertura. Una ventaja del uso de repetidor de fibra óptica es que no es necesario que haya línea vista entre el repetidor y la celda donadora, ya que la conexión es por fibra. Sin embargo, es importante analizar el costo por instalación de línea de fibra óptica.

Uno de los usos más comunes que se da a este tipo de repetidor es en edificios, donde se requiere cobertura de baja potencia, como repetidores de un solo canal de aproximadamente 5 vatios. Otro uso común es en áreas con alta concentración de pilotos algunos no declarados como vecinos, por lo que provoca problemas de fallas de acceso o caída de llamadas para estos casos el repetidor amplifica un piloto y lo coloca como dominante.

Figura 49. Repetidor de fibra óptica



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Sistema de repetidoras.*

<http://ciep.ing.uaslp.mx/njjcontrol/images/pdf>. Consulta 17 de enero 2019.

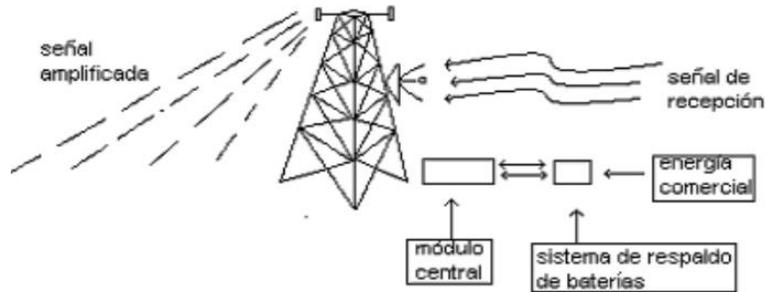
- Repetidor de aire

El repetidor de aire se compone básicamente de un sistema de baterías BUPS (*Backup Battery System*), que es el sistema de respaldo de energía. Su módulo central es en donde configura el repetidor su antena donadora, la cual sirve de enlace aéreo con el sitio de celda donador. Las dimensiones de un repetidor son pequeñas en comparación con el equipo utilizado en una celda CDMA. Por consiguiente, su hardware es también pequeño.

Los repetidores de aire cuentan con la opción de utilizarse con un solo canal o con dos canales. Esto significa que para efectos de requerimiento de cobertura puede utilizarse un repetidor de un solo sector o de dos sectores para repetidores instalados en cascada, normalmente se utiliza repetidor de un solo canal.

Existen ciertas especificaciones que son importantes en el momento de seleccionar un tipo de repetidor, estas deben acomodarse a los requerimientos de diseño de red. Algunas de las especificaciones que se pueden mencionar son: frecuencias PCS, características RF, figura de ruido, factor de calidad de forma de onda, ancho de banda de canal, nivel de retardo, en microsegundo tanto para enlace *forward* como *reverse*, energía de respaldo por baterías, energía solar e híbridos.

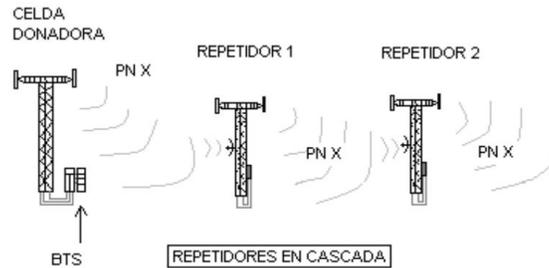
Figura 50. Repetidoras de aéreo



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Sistema de repetidoras*.  
<http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf>. Consulta 17 de enero 2019.

Un repetidor simple puede tener diferentes configuraciones, entre ellas están:

Figura 51. Configuración de repetidoras en cascada



Fuente: CIEP, banco de baterías. *Sistema de repetidoras*.  
<http://ciep.ing.uaslp.mx/njjccontrol/images/pdf>. Consulta 17 de enero 2019.

Se tiene la configuración de la antena donadora y una antena suscriptora de polarización dual, esta se utiliza básicamente para repetidores en cascada o

para cubrir una cierta parte de carretera o área con alta concentración de pilotos.

- Rectificadores

El suministro e instalación de equipos de estas capacidades, se solicita para garantizar la continuidad del funcionamiento de los equipos de telecomunicaciones instalados en los sitios, generalmente unidades remotas importantes. Casi siempre el procedimiento es el mismo que el utilizado en la instalación de una planta rectificadora de 100 a 300 amperios. Sin embargo, los alcances no están generalizados por orden de compra, sino por sitio de trabajo; la cantidad de materiales son establecidos en las órdenes de trabajo o ingenierías del proyecto.

A continuación, se muestra la representación gráfica del proceso de instalación de planta rectificadora de capacidades 400, 500 y 600 amperios. No existe ningún punto fuera de los límites de control, por lo cual el proceso se encuentra bajo control al no existir variaciones en el proceso, límites de control para tiempos de instalación de planta rectificadora de 600 a 800 amperios.

Las plantas rectificadoras iguales o menores que 600 amperios generalmente se instalan en una sala donde también se encuentran ubicados el tablero de alimentación, banco de baterías, barra equipotencial del sistema de tierras, entre otros. Que son equipos que interviene en la instalación. Mientras que en la instalación de plantas rectificadoras iguales o mayores que 800 amperios, los equipos que intervienen en la instalación se encuentran separados.

A diferencia de las plantas rectificadoras de menor capacidad, en donde un lote en conjunto es considerado como proyecto, la instalación de una planta

rectificadora de esta capacidad es considerada como proyecto, debido a que tienen poca demanda, ya que solamente son requeridos por centros técnicos importantes y el costo es elevado. El proceso de instalación de plantas mayores a 200 amperios debe pasar por todas sus fases, desde planificación hasta la operación o funcionamiento.

El diagrama de operaciones representa las actividades más importantes durante la instalación de plantas rectificadoras de estas capacidades, si bien es cierto que tanto las unidades remotas, como los centros técnicos o centrales de telecomunicaciones difieren en diseño, las actividades de instalación son las mismas. El tiempo descrito en el diagrama de operaciones representa el tiempo cronometrado durante el procedimiento de instalación de planta rectificadora de x amperios.

Figura 52. **Plantas rectificadoras**



Fuente: elaboración propia.



## **4. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS EN TORRES DE TELECOMUNICACIÓN**

Las cargas instaladas variaran según el tipo de torre de telecomunicación que se esté evaluando ya que hay torres auto soportada, atirantadas y monopolo, también en poste hay equipos de telecomunicación ya que cada torre contara con distintos tipo de equipo la cual su potencia demandada será distinta. En la última época el internet se ha convertido en una gran red de servicios permitiendo el auge de una gran variedad de aplicaciones en grandes y pequeñas empresas, incluyendo todos los mercados de consumo en equipos móviles personales como de última milla en hogares.

Estas nuevas aplicaciones han generado una mayor de ancho de banda el cual debe ser garantizado a nivel de *backbone* por los proveedores de servicios desde los *Carriers* hasta los *services providers*.

### **4.1. Cálculo y distribución de carga instalada según potencia demandada de la torre de telecomunicación**

Se analizaran los cálculos y las distribución de las cargas en cada torre de telecomunicación que se estará trabajando, teniendo cuenta la demanda que tendrá cada torre, se realizaran tablas de cada torre según como este compuesta la torre.

Tabla VII. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 1,0KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora	0,5
2	Iluminación	0,3
3	fuerza	0,1
4	Circuito cerrado	0,1
5	A/C	0,5
	<b>Carga total</b>	<b>1,5</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 2,0KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora y receptora	1,2
2	Iluminación	0,4
3	Fuerza	0,2
4	Circuito cerrado	0,2
5	A/C	0,5
	<b>Carga total</b>	<b>2,5</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 3,5KW**

	Equipo	cia
	os receptora y transmisión	
	Iluminación	
	Fuerza	
	Circuito cerrado	
	A/C	
	<b>Carga total</b>	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 5,0 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora, transmisión y receptoras	3,8
2	Iluminación	0,4
3	Fuerza	0,2
4	Circuito cerrado	0,2
5	A/C	0,7
	<b>Carga total</b>	<b>5,3</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 8,0 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora, transmisión y receptoras	7,2
2	Iluminación	0,5
3	Fuerza	0,4
4	Circuito cerrado	0,4
5	A/C	0,7
	<b>Carga total</b>	<b>9,2</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 12,0 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora, transmisión y receptoras	10,0
2	Iluminación	0,7
3	Fuerza	0,4
4	Circuito cerrado	0,4
5	A/C	1,2
	<b>Carga total</b>	<b>12,7</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Potencia demandada en torres de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 16,0 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora, transmisión y receptoras	12,5
2	Iluminación	0,7
3	Fuerza	0,4
4	Circuito cerrado	0,4
5	A/C	2,5
	<b>Carga total</b>	<b>16,5</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Potencia demandada en torres de telecomunicación sin energía eléctrica de 2,0 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora y receptora	1,2
2	Iluminación	0,3
3	Fuerza	0,3
4	Circuito cerrado	0,2
	<b>Carga total</b>	<b>2,0</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Potencia demandada en torres de telecomunicación sin energía eléctrica de 3,5 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos receptora y transmisión	2,5
2	Iluminación	0,4
3	fuerza	0,3
4	Circuito cerrado	0,3
	<b>Carga total</b>	<b>3,5</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Potencia demandada en poste de telecomunicación con energía eléctrica no continua de 1,0 KW**

No	Equipo	Potencia KW
1	Equipos repetidora	0,7
2	Iluminación	0,1
3	fuerza	0,1
4	Circuito cerrado	0,1
	<b>Carga total</b>	<b>1,0</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Dimensionamiento del sistema híbrido**

Cada sistema híbrido será dimensionado de distinta manera según su potencia demandada y de la ubicación de la torre de telecomunicación ya que habrá sectores donde la energía eléctrica sea accesible, pero no es continua y en otros sectores donde la accesibilidad de la energía eléctrica es completamente nula el sistema híbrido será autosostenible.

##### **4.2.1. Cálculo y selección del panel solar y controlador de carga según la potencia demandada en torre de telecomunicación**

Los paneles solares que se citaron es un producto donde su fabricación corresponde a la empresa mexicana SAYA los cuales fueron seleccionados por sus amplias y positivas características técnicas con las que cuentan. Se trata del modelo SAYA-B535-72, el cual es un panel solar con celdas de silicio Bifacial cristalino de 72 células que tiene un área de  $1,92 \text{ m}^2$  , pesa aproximadamente 40 kg y será capaz de entregar una potencia máxima de

535W. Las especificaciones aplican a en condiciones estándar (STC). El nivel de irradiación de  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$  con espectro AM 1,5 y temperatura de  $25^\circ$ .

El sistema híbrido que se propone pretende que los paneles solares aporten un 40 % del consumo en las torres de telecomunicación donde se cuente con energía eléctrica no continua y con 60 % de energía comercial para que así el sitio esté respaldado siempre, también se pretende hacer una disminución en el costo de energía eléctrica ya que la prioridad para sitio será el suministro de energía solar.

Los controladores de carga solar que se citaron es un producto donde la fabricación corresponde a la empresa china *Hefei Top Green Energy Technology* los cuales fueron seleccionados por sus amplias y positivas características técnicas con las que cuentan. Se trata del controlador de carga modelo TGSM100-220 el cual tiene la opción de controlar la carga generada por un conjunto de paneles de hasta 18 KW de potencia.

Este controlador de carga tiene las características técnicas que se necesitan ya que con el arreglo que se realizarán según la demanda de las torres de telecomunicación da un total máximo de 18 KW. Asimismo, entregará una tensión de 120VDC óptima para la carga del banco de baterías.

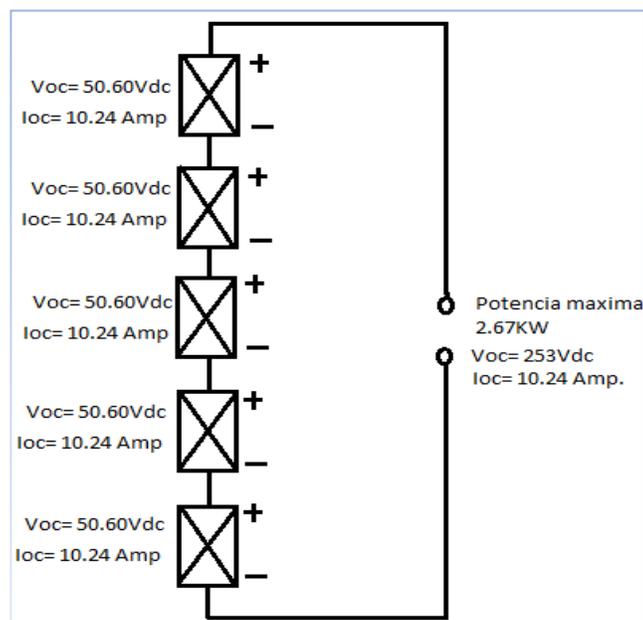
El controlador de carga solar es un dispositivo que puede controlar el panel solar y transformar la energía solar en electricidad y luego almacenarlos en el banco de baterías. Puede entonces suministrar alimentación normal para las zonas con escasa o incluso sin electricidad, pero también se puede utilizar como fuente de corriente continua de la base de comunicaciones móviles.

Control inteligente digital para garantizar la estructura del circuito periférico simple, método de control más flexible diseño modular con estructura simple y fácil mantenimiento, la función de pantalla LCD indica la energía fotovoltaica, tensión fotovoltaica, voltaje de la batería, la corriente de carga.

Protección solar de autoliquidación, la protección solar de conexión inversa, la protección de sobrecarga de la batería por lo que el sistema tiene una mayor fiabilidad y cuenta con la función de comunicación en tiempo real con la comunicación del puerto serie el usuario podrá analizar los datos desde el software instalado en el ordenador.

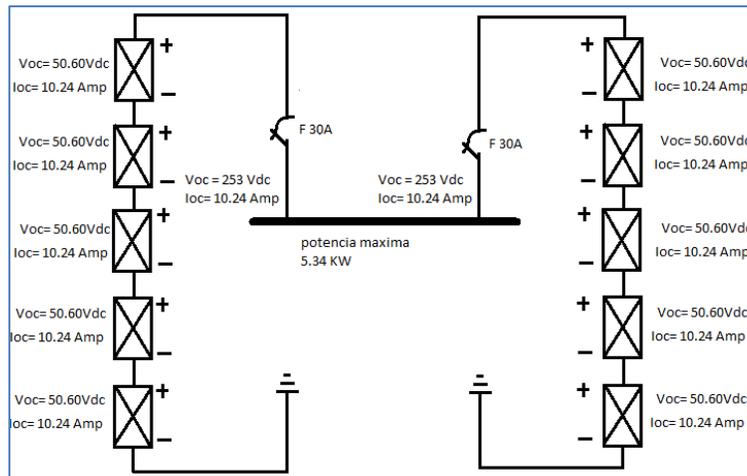
A continuación se muestra la configuración de conexión de los paneles solares según la potencia demandada de la torre de telecomunicación.

Figura 53. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 1,0 KW**



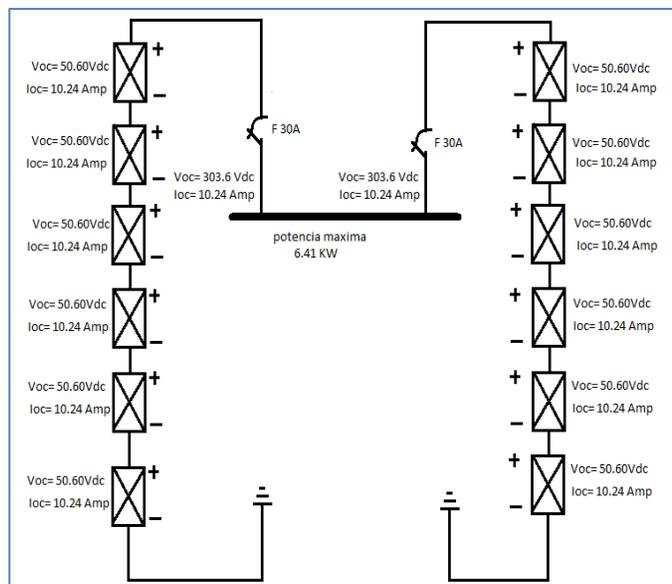
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 2,0 KW**



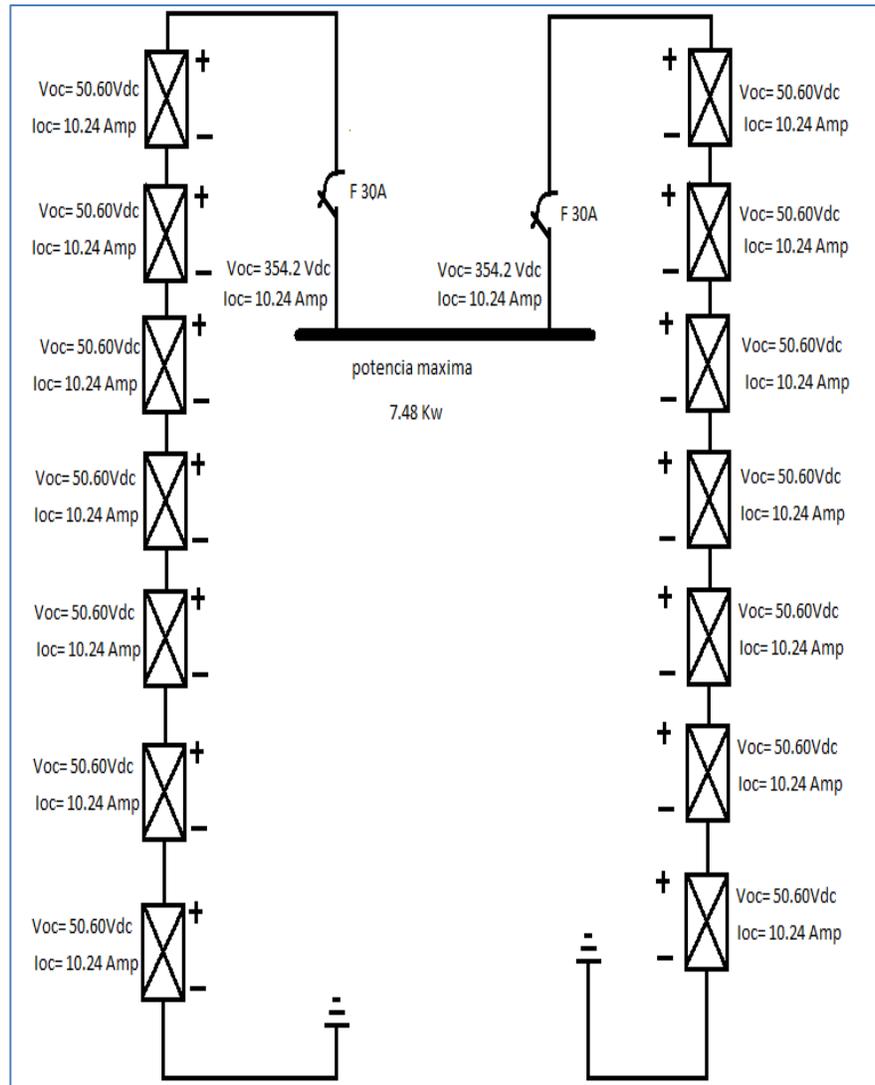
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 3,5 KW**



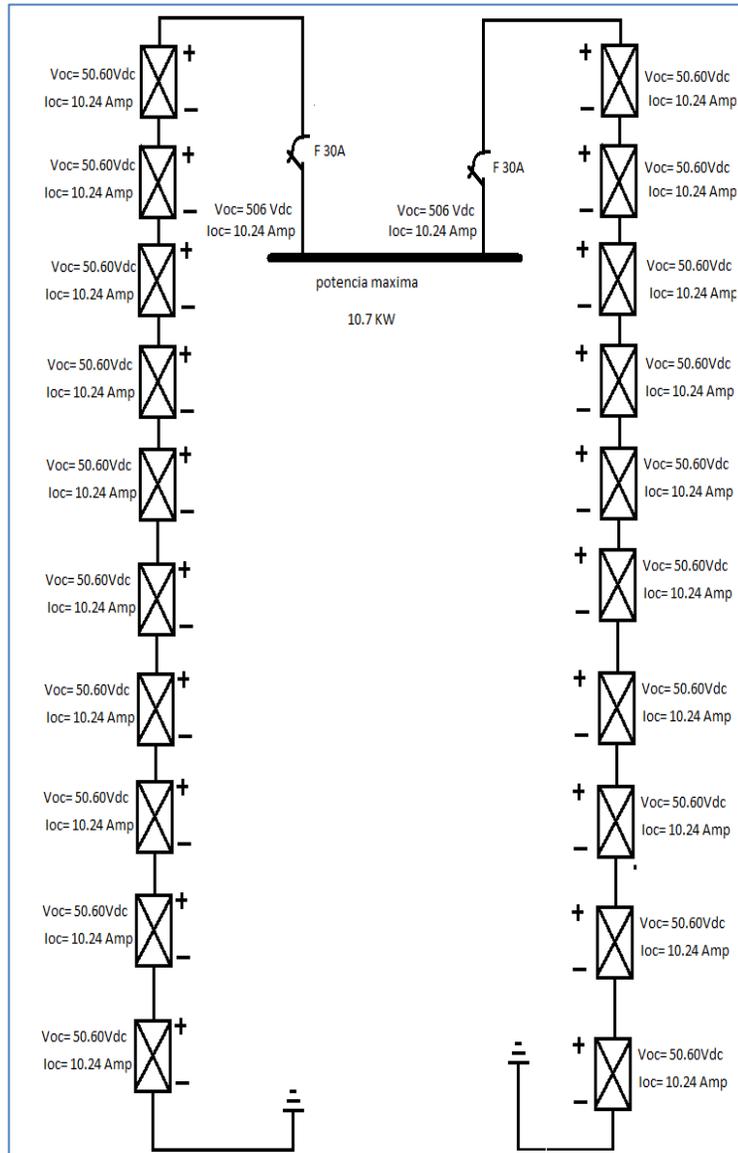
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 5,0 KW**



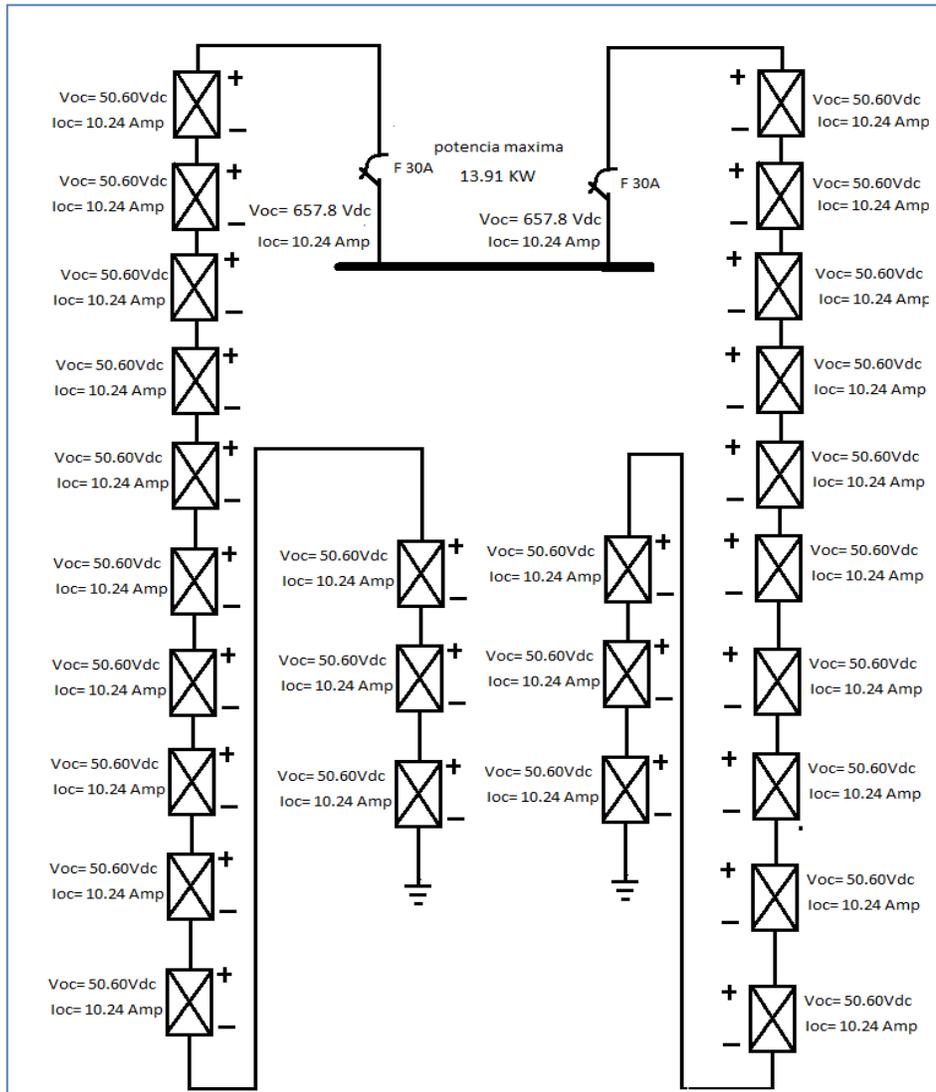
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 8,0 KW**



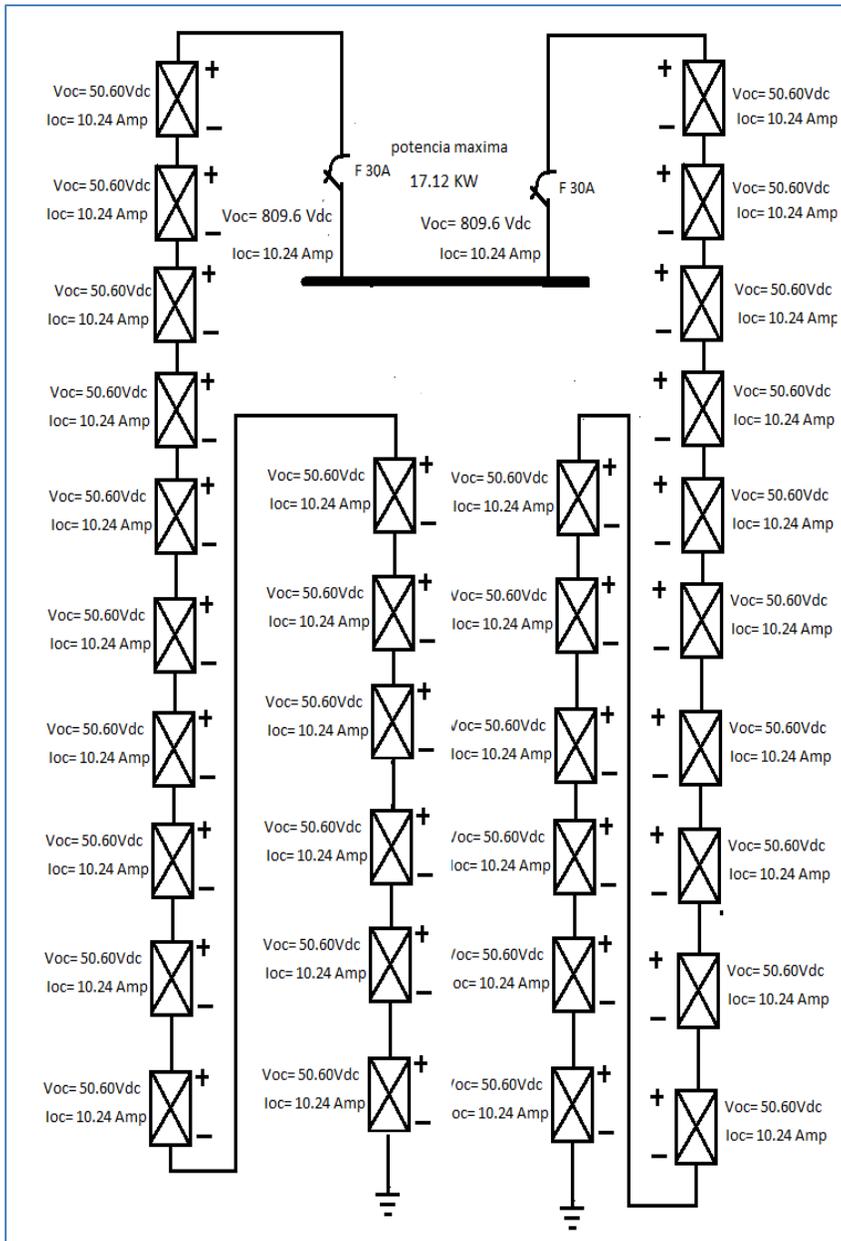
Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 12,0 KW



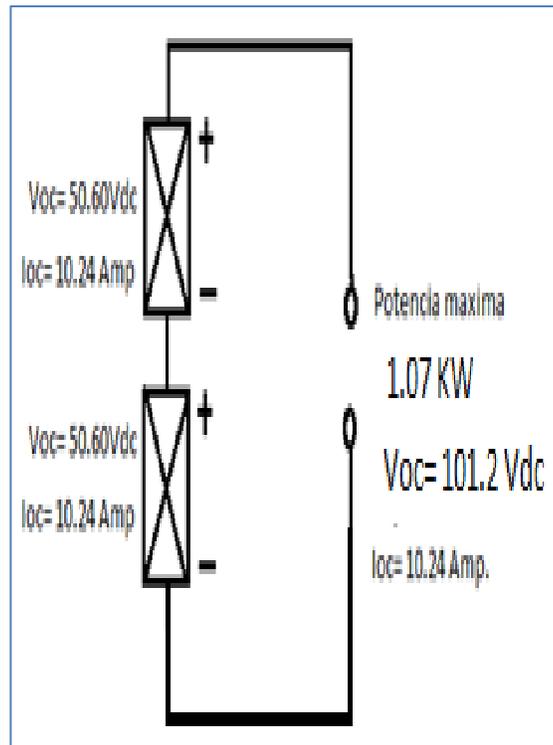
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para una torre de telecomunicación de 16,0 KW**



Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Configuración de conexión de paneles solares en serie para equipo en poste de 1,0 KW**



Fuente: elaboración propia.

Los paneles fotovoltaicos estarán instalados en estructuras metálicas y soportes como tubos metálicos, así también se aprovechará la estructura de la torre de telecomunicación para obtener una producción más efectiva dependiendo la demanda del sitio así será el juego de paneles fotovoltaico que serán colocados en la estructura metálica como en la torre de telecomunicación donde cada módulo constara de 6 paneles fotovoltaicos. Según la demanda del sitio, serán los módulos que se instalarán, así también se colocaron de 4 a 6 paneles fotovoltaicos en la estructura de la torre de telecomunicación según sea la demandada que se tenga en el lugar.

#### **4.2.2. Selección de ATS y su dimensión**

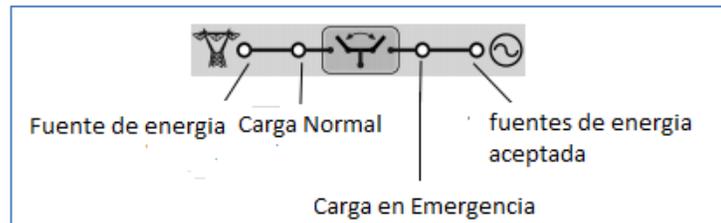
El controlador del motogenerador maneja la detección, el tiempo y el control Funciones para interruptores de transferencia automática y no automática este microprocesador está basado en el controlador que incluye una interfaz de usuario, todo el seguimiento y control de las funciones se pueden realizar con la puerta de la caja cerrada para mayor comodidad.

Da una seguridad de configuración de desconexión y conexión de tensión retardo de tiempo en los ajustes se pueden realizar a través de un sistema de menús. El controlador ATS proporciona el estado de ambas fuentes de alimentación (normal y emergencia), la posición del interruptor de transferencia se presiona arriba y abajo botones de acuerdo con flechas y no se requiere contraseña para navegar a través de estas pantallas.

El estado ATS es la pantalla de inicio mostrará el estado actual del ATS incluyendo el estado de secuencia de transferencia, temporizadores de funcionamiento, estado de la fuente conectada y posición de ATS aparecerá un mensaje de control debajo del estado.

El mensaje de control instruye al usuario sobre qué acción está disponible. Todas las demás pantallas regresan automáticamente a la pantalla de estado ATS (pantalla de inicio) después de cinco minutos de inactividad, el AT'S que se elegirá para este trabajo de graduación es un AT'S Emerson Asco 381333-400A de una capacidad de 150 amperios en los siguientes voltajes 120/208/240/277/380/480 voltios con un dimensionamiento físico de 0,80x0,60x0,40 metros.

Figura 61. **Proceso de funcionamiento de ATS, ASCO 381333-400 A**



Fuente: Asco ATS 381333-400A.

- **Transferencia automática de transición abierta (3ATS)**

La secuencia para transferir la carga a la fuente de emergencia comienza automáticamente cuando el controlador detecta una señal normal. Fallo de la fuente es una señal de prueba de transferencia (local o remota), una transferencia remota a una señal de emergencia o al MG (con transferencia de carga), fallo de la fuente normal se considera inaceptable cuando cualquiera de los cuatro voltajes falla u ocurren condiciones de frecuencia anormal. La señal de transferencia de prueba puede ser desde el botón de transferencia que ejercerá el motogenerador o a través del puerto serie opcional.

El controlador comienza la secuencia de transferencia de carga desactivando el relé SE e iniciando el tiempo de la función 1C retrasar, el retardo de tiempo de la característica 1C y en el arranque del mg evita el arranque molesto del MG y la carga de transferencia a emergencia debido a fallas momentáneas de la fuente normal. Si se restaura la fuente normal (voltaje regresa por encima del punto de deserción) mientras se está ejecutando el retardo de tiempo de la característica 1C, el relé SE vuelve a energizar y la secuencia de transferencia se termina. (Para la prueba de transferencia el retardo de tiempo de la función 1C se omite).

Señal de arranque del motor cuando finaliza el retardo de tiempo de la función 1C, el controlador desactiva el relé NR que señala el motor-generador para arrancar. El controlador monitorea la fuente de emergencia, esperando que se convierta aceptable. Por lo general, transcurren aproximadamente 10 segundos desde la desconexión del relé NR hasta la aceptación de la emergencia fuente. Este intervalo se produce porque el motogenerador debe arrancar, arrancar y correr hasta los puntos de recogida nominales.

Si la fuente de emergencia está disponible de inmediato, el controlador la aceptará tan pronto como el relé NR se desconecte. Cuando la fuente de emergencia se vuelve aceptable, el controlador inicia el retardo de tiempo de la característica 2B en la transferencia a emergencia (si se desea).

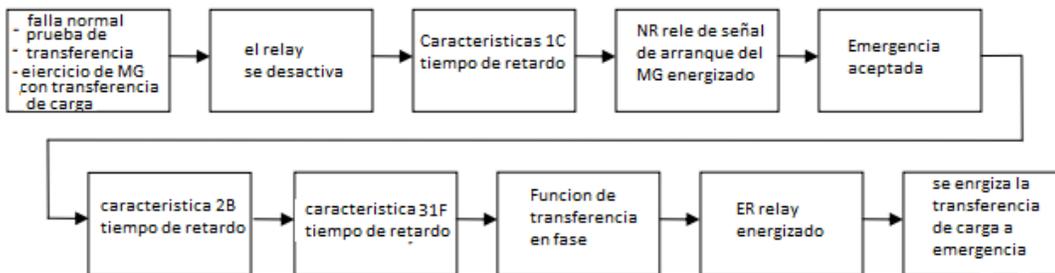
El retardo de tiempo de la característica 2B permite que la fuente de emergencia se estabilice antes de la transferencia de carga. Si la fuente de emergencia falla mientras se ejecuta el retardo de tiempo de la característica 2B, el controlador nuevamente espera la emergencia.

La fuente vuelve a ser aceptable y reinicia la característica 2B. Al finalizar el retardo de tiempo de la característica 2B, el controlador está listo para transferir la carga a emergencia.

Habilitado el tiempo de demora de la característica 31F se ejecutará antes de la transferencia y la salida de la característica 31 estará activa durante el tiempo retraso se ejecuta. Además, si la función de transferencia en fase (para cargas de motor) está habilitada, el controlador inhibirá la transferencia hasta que las fuentes estén en fase.

Para transferir la carga a la fuente de emergencia, el controlador energiza el relé ER, la transferencia de la bobina TS del interruptor se energiza y todos los contactos del interruptor de transferencia (red, controles, auxiliares) invierten la posición transferir el interruptor ahora está suministrando la carga desde la fuente de emergencia, el retardo de tiempo de la característica 1F ignora un voltaje momentáneo caída de la fuente de emergencia cuando se agrega carga al generador. Si está habilitado el tiempo de demora de la característica 31M se ejecutará después de la transferencia y la salida de la característica 31 estará activa mientras el retraso del tiempo se ejecuta.

Figura 62. **Proceso de funcionamiento de AT'S**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3. Selección de protección eléctrica en cada punto de interconexión del sistema híbrido

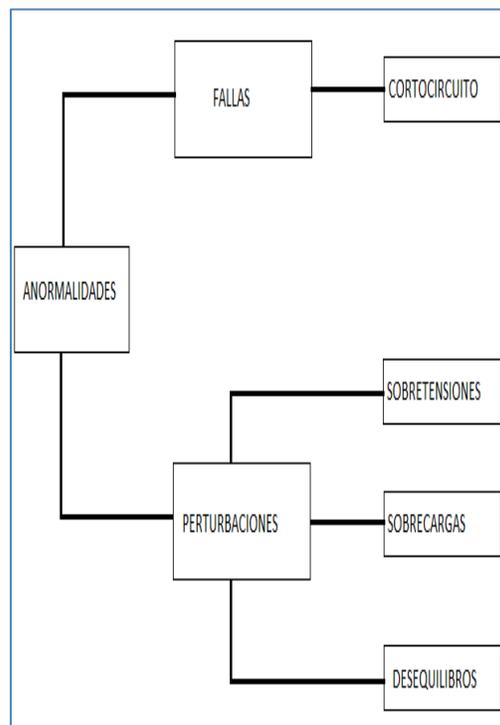
- Protección eléctrica

Una protección eléctrica es un dispositivo que tiene como finalidad de detectar condiciones a normales en la operación de un sistema eléctrico y actuar automáticamente para restablecer la operación normal, en el caso de fallas en equipos eléctricos la medida por tomar será retirarlos del servicio y en

el caso de fallas de un sistema eléctrico se aislará el sector que produce la anomalía. Las características de una protección se describen a continuación:

- Confiabilidad
- Selectividad
- Rapidez
- Exactitud
- Sensibilidad

Figura 63. **Causas de anomalías en protecciones eléctricas**



Fuente: elaboración propia.

- Cortocircuito

Es el fallo producido en un aparato o línea eléctrica en donde la corriente eléctrica pasa directamente de la fase al neutro en sistemas monofásicos y en dos o más fases es un sistema polifásico o entre polos opuestos en el caso de corriente continua. Es un defecto de baja impedancia entre 2 puntos de voltaje diferente que produce una falla de corriente según el efecto julio es la corriente que circula por un conductor generando calor, por lo tanto, si la corriente adquiere valores excesivos provocara temperaturas que fundirán el conductor del circuitos siendo este el fenómeno más apreciable de un cortocircuito.

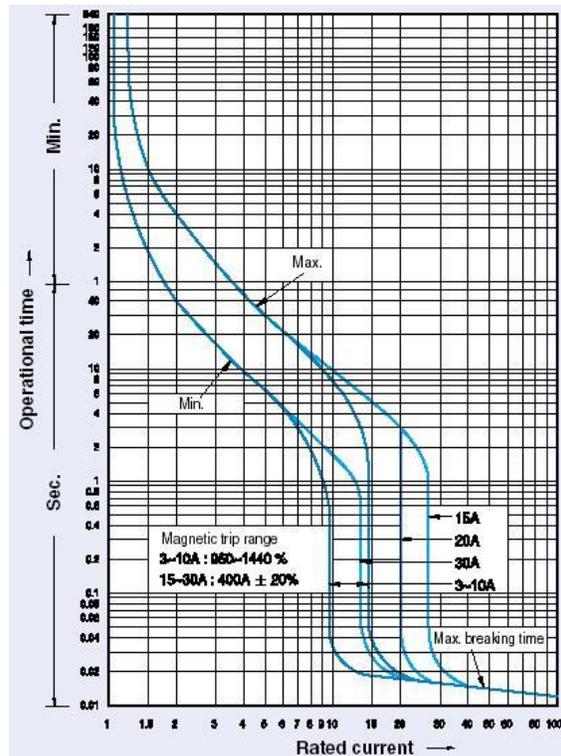
- Sobretensión

Es la que somete a los aislantes a esfuerzo que los deteriora y en caso de una duración prolongada trae como consecuencia daños a los equipos tanto a los usuarios de generación como de transformación en caso de una falla del aislante trae como consecuencia inmediata un corto circuito. Las sobretensiones pueden ser producidas por descargas atmosféricas o por apertura de líneas largas de alta tensión.

- Sobrecarga

Son las sobrecorrientes de duración larga o cortas según de donde sea provocada dicha sobrecarga, las principales causas son los cortocircuitos que no se aíslan correctamente, los picos de consumo o de transferencia de potencia en líneas de interconexión así también las sobrecorrientes originadas por desconexiones de circuitos en paralelo que se pueden prolongar hasta la reposición del circuito desconectado.

Figura 64. Curva de disparo de *breaker* según su capacidad (amperios)



Fuente: MIROS, Tomas. *Curva de disparo de breaker según su capacidad (amperios)*.  
<https://curva+de+disparo+de+un+breaker&source>. Consulta 28 de marzo 2019.

Tabla XVII. Capacidad de *breaker* (amperios) en la interconexión de cada punto híbrido en sitio con energía eléctrica inestable

Sitio KW	Control	Medición	A/C	Solar	MG	Bco. de batería	Rectificador	Reserva
1,0	1x15 A	2x100 A	2x30 A	2x30 A	2x70 A	1x50 A	2x70 A	2x20 A
2,0	1x15 A	2x100 A	2x50 A	2x30 A	2x70 A	2x100 A	2x70 A	2x20 A
3,5	1x15 A	2x225 A	2x50 A	2x30 A	2x70 A	2x175 A	2x70 A	2x20 A
5,0	1x15 A	2x225 A	2x50 A	2x30 A	2x70 A	2x175 A	2x70 A	2x20 A
8,0	1x15 A	2x225 A	2x50 A	2x30 A	2x70 A	2x175 A	2x70 A	2x20 A
12,0	1x15 A	3x200 A	2x75 A	2x30 A	3x100 A	2x225 A	2x70 A	3x20 A
16,0	1x15 A	3x225 A	2x100 A	2x30 A	3x150 A	2x225 A	2x70 A	3x20 A

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Capacidad de *breaker* (amperios) en la interconexión de cada punto híbrido en sitio sin energía eléctrica**

Sitio KW	Control	Medición	A/C	Solar	MG	Bco. de batería	Rectificador	Reserva
2,0	1x15 A	2x100 A	2x30 A	2x30 A	2x70 A	2x100 A	2x70 A	2x20 A
3,5	1x15 A	2x225 A	2x30 A	2x30 A	2x70 A	2x175 A	2x70 A	2x20 A

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Capacidad de *breaker* (amperios) en la interconexión de cada punto híbrido en poste con energía eléctrica inestable**

Sitio KW	Control	Medición	A/C	Solar	Bco. de batería	Rectificador	Reserva
1,0	1x15 A	2x100 A	2x30 A	2x20 A	2x70 A	2x40 A	2x20 A

Fuente: elaboración propia.

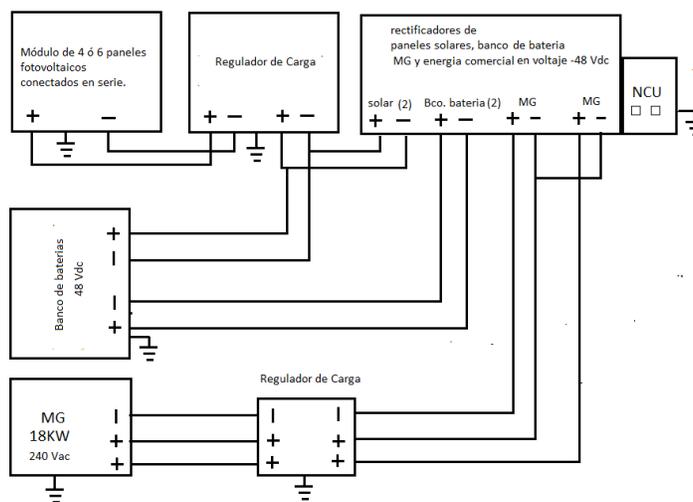
#### **4.2.4. Interconexión de paneles fotovoltaicos, moto-generador y banco de baterías**

La interconexión de los equipos híbridos será colocando los módulos de paneles fotovoltaicos en estructuras metálicas y en la estructura de la torre de telecomunicación en cual se llevara un cable tsj 3x10 awg provenientes de los módulos de paneles fotovoltaicos instalados según la potencia del sitio a un regulador de carga que este se encargara de suministrarle la energía suficiente a nuestro banco de baterías para cargarlas que serán cableados con cable 1/0 awg THHN.

A los rectificadores solares que estos suministrarán la energía eléctrica a los equipos de telecomunicación, por lo que se nota en el esquema el polo positivo y negativo proveniente del banco de baterías así como del regulador de carga son intercambiados en la barra de carga que alimentan los rectificadores cableado con cable 1/0 awg THHN.

El fin de intercambiar el polo positivo y negativo es que los equipos de telecomunicación trabajan a un voltaje de -48Vdc, también se contará con el motogenerador que la energía que suministrara estará pasando por un controlador de carga que estará cableado con cable 1/0 awg THHN y que seguidamente se conectara a la barra de carga de los rectificadores. El centro de rectificadores contara con un control remoto llamado NCU (unidad de control *Netsure*) este control permitirá una alta eficiencia en los rectificador será el que estará suministrando la energía eléctrica a los equipos de telecomunicación.

Figura 65. **Esquema de la interconexión de los equipos híbridos**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.5. Selección de motogenerador y controlador de carga según potencia demandada de la torre de telecomunicación**

La selección del moto-generador será la de los motores *KOHLER* Diesel KDI que ofrecen a MG una de las relaciones de compactibilidad y potencia más destacables de esta forma se reduce sensiblemente su tamaño como los costes de transporte y almacenamiento. A partir de ahora SDMO puede presentar un MG de 8 Kw a 18 Kw en una cubierta de tamaño reducido esto debido a una combustión optimizada tanto de su consumo de carburante como el nivel de emisión de sustancias contaminantes son muy reducidos.

SDMO ofrece de forma opcional, un chasis de pared doble con el que se obtiene una gran autonomía una pared doble que protege el ambiente de una eventual fuga de carburante es la opción ideal para el uso en zonas aisladas, ofrece un control avanzado de un sistema de vigilancia y de un diagnóstico para lograr un rendimiento optimizado, para una mayor autonomía se elige el chasis de pared doble con depósito de gran capacidad integrado ideal para zonas aisladas esta opción combina la necesidad de autonomía, seguridad con la posibilidad de retención de todos los fluidos del Mg.

SDMO ofrece para cada uno de sus Mg una amplia gama de opciones para facilitar las distintas fases de mantenimiento para incrementar la seguridad de los usuarios y adaptarse a usos específicos o a entornos inusuales, cuenta con la opción que permite la visualización de la presión de aceite, de la temperatura de agua en la pantalla *Telys*.

En algunos casos, se trata de indicadores adicionales como un cajón de extracción de aire metálico en forma de codo que permite canalizar el chorro de aire desde la parte superior del capotaje hasta el frontal del Mg. Cuenta con un corte de batería con control por mando giratorio que permite aislar fácilmente la batería durante el almacenamiento del Mg.

El *Telys* ofrece cuadros con una amplia variedad de posibilidades que van desde el manejo simplificado hasta la posibilidad de gestionar los acoplamientos más complejos adaptándose a todas las necesidades. El *Telys* es un cuadro polivalente equipado con una pantalla lcd especialmente intuitiva que ofrece una calidad excelente, permite manejar el Mg de forma sencilla y fiable se encuentra integrado en la consola del Mg destinados a las aplicaciones industriales de baja tensión con y sin inversor de fuente.

El modo manual y automático con la entrada de arranque automático gestión y protección del Mg como también las medidas eléctricas las cuales se reflejan la potencia, medidas de magnitudes mecánicas, detección automática de la tensión y frecuencia configuración asegurada en *Telys* o en PC, brinda una protección contra la humedad y el polvo mediante barniz de tropicalización.

Figura 66. **Motogenerador SDMO de 18 KW**



Fuente: SDMO Moto-generadores.

#### **4.2.6. Selección de almacenamiento de energía (banco de baterías) según potencia demandada de la torre de telecomunicación**

Las baterías solares *TAB* están diseñadas para abastecer de energía a equipos bajo de consumo que tienen un funcionamiento a través de energía solar y que para ello requieren de un banco de baterías que permita descargarse lentamente durante un largo período de tiempo. La batería solar *TAB 48V 575Ah 5TOPzS442* es muy fiable dado el número de años en el mercado llegando a una media de unos 1 800 ciclos aplicando descargas de hasta el 60 %.

En la medida que la profundidad de la descarga sea menor la batería alargará su vida útil, aunque lo más común es que este tipo de bancos de baterías estacionarias duren entre 9 y 12 años, es de la gama Vesna es considerada como la gama de baterías y acumuladores del fabricante *TAB* pues cuenta con una mayor durabilidad que otras baterías de similares características y una larga vida útil es, por tanto, un acumulador excelente para las instalaciones fotovoltaicas más exigentes.

Cuando se desea una gran durabilidad y eficiencia, así como una lenta descarga por su naturaleza están preparadas para trabajar en los entornos más exigentes, Vesna recomienda que no supere una capacidad nominal del 80 % de carga pues esto podría reducir la vida útil de la batería solar.

La batería solar *TAB 48V 575Ah 5TOPzS442* es el tipo de batería estacionaria más apropiada para sistemas solares fotovoltaicos y se deberán conectar entre el regulador de carga es el que trata que una batería estacionaria de ciclo profundo, cuyas virtudes principales respecto a las

baterías monoblock son la profundidad de descarga los porcentajes ascienden hasta el 70 % y los ciclos de vida de la misma, que pueden alcanzar los 1 800 ciclos con una profundidad de descarga media del 50 % considerando un ciclo una descarga completa y una carga completa de batería.

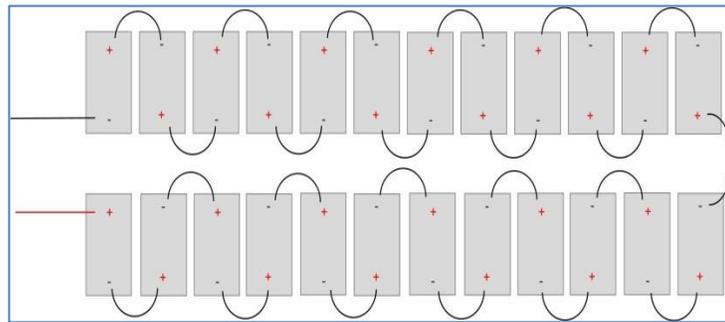
La batería *TAB* fabricada en la unión europea ha sido probada durante más de 20 años con un porcentaje de fallo menor al 0,1 % de las baterías totales, da seguridad en su comercialización y garantía de funcionamiento en los sistemas solares fotovoltaicos los acumuladores siempre deberán conectarse en serie hasta llegar al voltaje de trabajo mientras que si la instalación es de 24V o 48V se necesitan 12 o 24 acumuladores, respectivamente.

Este tipo de baterías está diseñado para el uso de sistemas que requieran un suministro constante de energía tales como torres de telecomunicación de la red eléctrica con sus respectivos equipos. La batería solar *TAB 48V 575Ah 5TOPzS442* está formada por 24 acumuladores de 2V cada uno, de manera que se debe conectar los 12 acumuladores en serie para formar una batería de 48V, es importante remarcar que cuando se adquieren los bancos de baterías completos se incluyen los puentes de conexión entre los diferentes acumuladores de manera que no se necesita adquirir ningún otro elemento se muestra en la figura como conectar el grupo de baterías de 48V.

La batería solar *TAB 48V 575Ah 5TOPzS442*, como se muestra en la etiqueta, está valorada en varias tasas de descarga, siendo las de uso más frecuente las tasas en C10 y en C100. Normalmente en baterías para energía solar y renovable la tasa que predomina sobre el resto es la tasa C100 lo que quiere decir, que para calcular la capacidad de esta batería, se ha sometido a una descarga continuada de la batería durante 100 horas y esta ha sido capaz

de extraer los amperios que se marca siempre que se necesiten baterías estacionarias solares destinadas al uso de equipos de bajo consumo permanentes es muy fiable la medida C100.

Figura 67. **Esquema de conexión de banco de baterías**



Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Batería solar TAB 48V 575Ah 5TOPzS442**



Fuente: Autosolar panels solares. *Batería solar TAB 48V 575Ah 5TOPzS442.*  
<https://autosolar.es/pdf/Bateria-TAB-solar-T-OPZS.pdf>. Consulta: 10 de abril 2019.

Las baterías *Marathon* de plomo-ácido reguladas con válvula (VRLA) como una solución de suministro eléctrico comprobada en la industria, para una gran variedad de aplicaciones en telecomunicaciones y servicios de suministro eléctrico. Sus principios superiores de diseño se han aplicado a un amplio rango de capacidades (28 a 190 amperios-hora) para garantizar una combinación de vida prolongada, un desempeño sólido en la descarga y la capacidad de escalamiento para prácticamente cualquier necesidad de suministro eléctrico. La experiencia e innovación de GNB con la tecnología VRLA hacen de *Marathon* la opción preferida en baterías de respaldo de emergencia con duraciones media y prolongada.

Las baterías *Marathon* son utilizadas en sistemas inalámbricos, telefonía celular, suministro eléctrico distribuido, PCS, banda ancha, energía para control de transmisión de electricidad, la aleación superior del polo positivo de plomo-estaño-calcio-plata ayuda a resistir la corrosión a mayor presión de apertura del escape para evitar la generación innecesaria de gases, dispositivo unidireccional de resellado automático, probado y comprobado para maximizar la vida útil de la batería.

El crecimiento permitido de la rejilla positiva minimiza la acumulación en las placas, los posibles cortos su diseño patentado de pared lateral tipo diamante para mantener la integridad estructural a mayores temperaturas de operación envolvente y cubierta de polipropileno durable con tecnología de tapete de vidrio absorbente de alta compresión (AGM) para lograr una eficiencia superior al 99 % En la recombinación el supresor de chispas integrado está unido con soldadura ultrasónica a la cubierta, para ofrecer una protección segura.

Figura 69. **Baterías *Marathon* de plomo-ácido reguladas con válvula**



Fuente: Marathon. *Baterías Marathon de plomo-ácido reguladas con válvula.*

<http://Marathon%20Industrial%20Batteries%20in%20Spanish.pdf>.

Consulta: 10 de abril 2019.

#### **4.2.7. Selección del inversor DC/AC y AC/DC**

Los inversores híbridos son aquellos que se usan en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, su función principal reside en transformar la corriente continua en corriente alterna, al mismo tiempo que se encargan de almacenar y descargar la energía obtenida de sus placas solares en las baterías. Los inversores híbridos combinan la tecnología de la energía solar, la red eléctrica integrando de la mejor forma posible ambas fuentes de energía y dando prioridad a cada una según sus necesidades. Este tipo de inversores es adecuado para instalaciones fotovoltaicas situadas en lugares donde no llega la red eléctrica o no es continua.

El inversor híbrido aprovecha al máximo todos los recursos disponibles e intenta que el excedente de energía en la red eléctrica sea el menor posible y se acumule en baterías para que su consumo sea mucho más eficiente.

Los inversores autosolar híbridos son de fabricantes líderes en el sector como *Ingeteam*, *Infinisolar* y *Fronius* con potencias desde 3kW hasta 16kW, este tipo de inversor se adapta a los cambios de las normativas futuras ya que obtiene una mayor rentabilidad de la energía y elimina los picos de alto consumo que obstaculizan la correcta gestión de la red. El uso de la energía procedente de fuentes renovables es cada vez más frecuente y positiva para el futuro, si tiene alguna duda sobre los inversores híbridos consúltenos.

Los inversores híbridos han sido diseñados para trabajar con tensiones altas de baterías. Este inversor híbrido trabajara con tensiones desde 48V a 500V en función de las características del inversor híbrido generalmente este tipo de inversores híbridos trabaja con baterías de GEL o Ion-Litio.

#### Modos de funcionamiento del inversor híbrido

- Modo aislado

Únicamente existirá consumo de la red cuando las baterías no tengan carga y no haya generación solar, el kit solar solo funcionará en horas solares.

- Modo *backup*

En este caso el inversor híbrido se conecta a la red cuando esta está presente, las baterías se mantienen cargadas, en flotación, y serán utilizadas si la red cae. El inversor híbrido inyecta a la red los excedentes de la producción, estos sistemas absorben los picos de potencia de consumo de la red al mismo tiempo que permiten la reducción de la potencia contratada.

- Modo autoconsumo

Siempre tendrá prioridad el consumo directo de la energía solar que puede ser suministrado desde los paneles o también desde las baterías si se trata de un sistema con respaldo nocturno. El excedente podría recargar una bancada de baterías o inyectarse a la red, dependiendo de la instalación también incorporaremos al inversor híbrido un accesorio antivertido, realizando un consumo centrado en las horas solares y acogidos a una tarificación que se puede lograr ahorros notables.

- Modo soporte de red

El inversor híbrido adaptará la potencia de salida de la instalación fotovoltaica marcando un valor predeterminado, de esta forma se mantendrá constante o también es posible controlar una rampa de variación de la potencia suministrada. Para lograrlo, se necesitará un controlador externo. Los inversores híbridos o gestores de energía son el futuro de las instalaciones solares pues utilizan la energía solar de manera eficiente reduciendo el consumo de la red eléctrica, eliminan picos de potencia que ocasionan dificultades a la hora de gestionar la red.

Al mismo tiempo el uso y desarrollo de baterías más eficientes de litio, incluso nuevas baterías que aún están en fase de investigación traerán un avance revolucionario en el campo de la energía en un periodo muy breve. El inversor híbrido trifásico 10kW Infinisolar es un inversor híbrido con salida trifásica que funciona con baterías, trabaja con baterías a 48V y se le puede conectar un máximo de 14 850W de potencia fotovoltaica.

El inversor híbrido trifásico 10kW Infinisolar gestiona las baterías con avanzados controles de carga y descarga que garantiza la máxima vida útil de las mismas ya que no hace pasar toda la corriente producida por los paneles solares a través de ellas para consumir puesto que se trata de un inversor híbrido.

La temperatura de las baterías puede ser vigilada en todo momento para poder asegurar su correcto funcionamiento, al contrario que en las instalaciones aisladas tradicionales, el inversor híbrido trifásico 10kVA infinisolar conecta varias series de paneles que trabajan a un voltaje superior, sus dos MPPT integrados tienen un rango de trabajo de entre 400 y 800V mientras que su intensidad máxima es de 18,6A. La electricidad que suministra la salida del inversor se convierte en tiempo real desde el campo fotovoltaico.

En caso de que haya excedente de energía, ésta se almacena en las baterías, mientras que si es necesaria más de la que se puede captar del sol, se recurre a las baterías o a una entrada auxiliar que se puede conectar a la red eléctrica a un Mg. Este sistema permite instalar menor potencia fotovoltaica de la que puede suministrar el inversor, en los casos puntuales que se necesite más potencia se recurrirá al campo de baterías o la entrada auxiliar en caso de utilizarla.

Este sistema es perfecto ya que permite que la inversión inicial no sea muy grande y poder ampliar posteriormente para que el sistema tenga sobrante de potencia fotovoltaica. En las baterías de 48V es un voltaje asumible por su coste dada la potencia del inversor en la que nos movemos.

El inversor híbrido trifásico 10kW Infinisolar es compatible con cualquier generador auxiliar, ya sea de gasolina o diésel, incorpora un cargador de

baterías que permite cargarlas a través del generador cuando estén completamente descargadas o bien hacer de *bypass* cuando el consumo es alto y no tenemos suficiente potencia solar.

El funcionamiento ideal es que los grandes consumidores trifásicos de la instalación que suministre el inversor híbrido trifásico 10kW Infinisolar sean diurnos y se tenga un respaldo en caso de necesidad (moto-generador o red eléctrica). Si los consumos nocturnos son muy elevados habrá que tener en cuenta un banco de baterías de gran capacidad. El inversor híbrido trifásico 10kVA Infinisolar es un inversor de onda pura con una eficiencia de conversión de corriente continua a alterna de un 91 %.

Su entrada de corriente alterna soporta un máximo de 40A y un rango de voltaje entre 170 y 280V por fase. El cargador de baterías está configurado por defecto a 60A, pero se puede ajustar entre 10 y 200A, dependiendo del tamaño del banco de baterías, puesto que no se recomienda que se carguen a más intensidad de un 10 % de la capacidad del banco de baterías.

Figura 70. **Inversor DC/AC y AC/DC Infinisolar**



Fuente: Marathon. *Inversor DC/AC y AC/DC Infinisolar* . <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-hibrido-trifasico-10kva-infinisolar>. Consulta: 11 de abril 2019.

#### **4.2.8. Instalación, operación y mantenimiento del sistema híbrido**

- Rectificadores

La planta rectificadora es la encargada de entregar -48VDC a la carga conectada, esto lo hace rectificando la corriente alterna y transformando alto voltaje DC proveniente de los paneles solares, está conformada con rectificadores (AC-DC) que rectifican la corriente alterna y controladores solares (DC-DC) los cuales son los encargados de transformar el voltaje proveniente de los paneles solares (VDC) al voltaje de operación (-48VDC).

La planta utiliza el protocolo de comunicación *Modbus*, que facilita obtener los parámetros y alarmas con que está operando el equipo en tiempo real. Así como también permite la interacción con el equipo de control para gestionar y modificar ciertos parámetros que optimizan la operación del equipo híbrido. Para el buen funcionamiento de la planta rectificadora se deben realizar inspecciones periódicas de la misma cada 5 meses para garantizar su operación normal, los puntos a revisar deberán ser registrados en nuestra tabla de control de la planta rectificadora las cuales se describen a continuación:

- Revisión y torque de conexiones eléctricas
- Revisión y apriete de tornillería de rectificadores
- Revisión de conexión Modbus

Revisión de alarmas de equipo que se verifica en el NCU, la verificación se realiza movilizándose con las flechas seleccionando la opción dónde está la figura de la sirena que se muestra en la pantalla del NCU presionando la tecla ENT ingresa al menú de alarmas.

- Revisión de posición de sensor de temperatura del sistema.
- Revisión de *breaker*, como la parte del mecanismo funcione adecuadamente.
- Interruptor de transferencia automática (AT´S)

Es el equipo utilizado en los sitios donde la energía eléctrica es inestable, el cual se acciona cuando pérdida de energía eléctrica y no se tiene energía solar ni energía de banco de baterías está inmediatamente hace el cambio, envía una señal para que arranque el moto generador de la misma manera realiza el cambio cuando censa que hay se tiene nuevamente energía eléctrica enviando nuevamente una señal.

Para que pare el motogenerador, que dicho mecanismo opere estable se deben de realizar inspecciones periódicas, así como engrase de esta (grasa dieléctrica). Dichas actividades deben de ser registradas en la tabla de control de la transferencia automática con una frecuencia cada 10 meses las cuales se describen a continuación:

- Revisión de conexiones eléctricas.
- Revisión de sujeción mecánica.
- Pruebas de cambio.

- Medir voltaje de línea de emergencia igual a 0 (cero) cuando el generador está parado.
- Revisión de mecanismo de conmutación debe realizarse una vez por mes.
- Lubricar el mecanismo de conmutación cada 12 meses con lubricante dieléctrico.
- Medir tierras de AT'S.
- Tarje de control

Parte fundamental del sistema híbrido debido que es el encargo del control y proporciona la comunicación de lo que está sucediendo en el equipo híbrido minuto a minuto, obteniendo lecturas de voltaje, corriente, nivel de combustible del moto-generador, temperatura del módulo electrónico, reporta alarmas en los equipos, y toma decisiones dependiendo de las condiciones del sitio, cambios de voltajes, arranque y paro del moto-generador.

Para obtener dicha información se debe tener un sistema operando estable para lo cual es necesario realizar varias actividades de inspección y verificación que se deben realizar con una frecuencia de cada 4 meses las cuales se registran en la tabla de control las cuales se describen a continuación:

- Revisión y torque de conexiones eléctricas
- Revisión de estado de led de tarjeta

- Revisión y estado de Acces Point
- Revisión estado de *led* en modem
- Revisión conexión de cable de antena en modem
- Revisión conexión de cable de antena principal
- Revisión de conexión entre modem y fuente de poder
- Revisión de conexión cable Ethernet entre modem y Acces point
- Revisión de comunicación de datos validados
- Medición de voltaje en cable de salida de fuente (5 voltios)
- Medición de voltaje en fuente debe ser 12 v
- Medición de voltaje en bornes de tarjeta entrega digital
- Medición de voltaje en bornes de relé debe ser 5 v
- Medición de voltaje de entrada a tarjeta de salida digitales 5 V
- Cortocircuitar la salida DO1 Debe de arrancar el motogenerador
- Medir continuidad entre las conexiones Modbus y conexión en tarjeta
- Medición de voltaje en tarjeta principal 5 V

- Medición de barras de tierras del equipo híbrido
- Revisión de mecanismo de accionamiento de micro *switch* de puertas
- Tarjetas de entradas digitales

Es la responsable de transformar el voltaje de 12 VDC a 5 VDC para alimentar la tarjeta de relay. Aquí se conectan todas las señales de entrada de los equipos hacia el controlador.

- Tarjeta principal

Es la tarjeta que tiene el procesador de la computadora industrial. Tarjeta de relay es la responsable de enviar señales digitales a los demás dispositivos. Debe recibir 5 VDC, el mínimo voltaje que deberá tener para cerrar un relay deberá ser de 3,75 VDC.

- Banco de baterías

La batería solar *TAB 48V 575Ah 5TOPzS442* es un producto de gama superior, desarrollado especialmente para aplicaciones en las que se requiera un ciclaje. Tiene extraordinarias características de ahorro de energía y alta fiabilidad, demostrada durante décadas en multitud de instalaciones en todo el mundo.

- Excelente rendimiento de ciclos: 1 800+ ciclos a 60 % de profundidad de descarga C10.
- Menor consumo de energía: ahorro de costes.

- Potente tecnología de placa tubular, larga vida útil en las condiciones más duras.
- A prueba de descarga profunda, mayor suministro de energía a largo plazo.
- Montaje horizontal posible, fácil instalación y mantenimiento.
- Completamente reciclable: menor huella de CO2.
- Es posible el montaje horizontal, fácil instalación y mantenimiento.

Para su funcionamiento la solución híbrida utiliza un banco de baterías de tecnología gel ácido-plomo, dependiendo de la carga que demande el sitio, el banco de baterías está diseñado para el almacenamiento suficiente para soportar la carga por más de 48 horas.

El banco de baterías opera con un voltaje nominal de -48 VDC y puede ser recargado por la producción solar o energía suministrada del motogenerador, para que dicho banco de baterías opere en condiciones estables se deben realizar las siguientes actividades cada 6 meses debiendo registrarse en la tabla de control del banco de baterías las cuales se describen a continuación:

- Revisión de estado de estructura (puntos de corrosión).
- Medición del voltaje y corriente de cada celda.
- Medición de voltaje de salida del banco completo.
- Medición de voltaje en planta rectificadora.

- Revisión de estado de baterías (que no estén derramadas).
- Lijar y pintar puntos de corrosión en el *rack* (si hubiera).
- Limpieza de bornes.
- Medición de temperatura entre baterías no debe de exceder de 5 grados Celsius.
- Medición de voltaje entre baterías debe ser entre 2 v +0,2/-0,1.
- Revisar torque de conexiones de baterías 20 N-m (14 libra-pie).

En soluciones híbridas en poste operan con banco de baterías con un diseñado para durabilidad en aplicaciones eléctricas, proporcionando alto rendimiento y confiabilidad en descarga de larga duración.

Este sistema utiliza baterías acido de plomo, funcionan como soporte al momento de tener cortes de energía eléctrica, operan con un voltaje nominal de 48 VDC el banco instalado debe ser capaz de soportar al menos 4 horas en caso haya interrupción de la energía eléctrica.

- Revisión de estado de estructura (puntos de corrosión).
- Medición del voltaje y corriente de cada celda.
- Medición de voltaje de salida del banco completo.
- Medición de voltaje en planta rectificadora.

- Revisión de estado de baterías (que no estén derramadas).
  - Lijar y pintar puntos de corrosión en el *rack* (si hubiera).
  - Limpieza de bornes.
  - Medición de temperatura entre baterías no debe de exceder de 5 grados Celsius.
  - Medición de voltaje entre baterías debe ser entre 2 v +0,2/-0,1.
  - Modelo de celda utilizada: batería *Marathon*.
- Paneles fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas, las células fotovoltaicas que componen un panel fotovoltaico se encuentran encajadas y protegidas. El panel fotovoltaico es el encargado de transformar de una manera directa la energía de la radiación solar en electricidad, en forma de corriente continua, el sistema de paneles fotovoltaicos de la solución híbrida está soportada por una estructura metálica compuesta 5 paneles y dependiendo de la solución puede haber desde 2 estructuras de 5 paneles hasta 9 estructuras de 5 paneles. Los paneles fotovoltaicos se conectan en serie para su operación.

Los sistemas de paneles solares para su protección están equipados con serie de fusibles fotovoltaicos los cuales están desarrollados con especificaciones para la protección de cableado de cadenas fotovoltaicas para aplicaciones de sistemas fotovoltaicos industriales, su robusta construcción lo

hace ideal para la temperatura continua y la resistencia al ciclo actual, lo que aumenta la longevidad del sistema con cada fusible de 32 A/20 A.

De acuerdo con la capacidad de solución híbrida a instalar el arreglo de estructura va desde instalar 2 hasta 32 paneles por sitio. La estructura debe ser inspeccionada y pintada acorde a las frecuencias de 6 y 12 meses de acuerdo con la tabla de control de la estructura de paneles fotovoltaicos que a continuación se describe:

- Revisión de estado de los paneles fotovoltaicos (que no esté quebrados).
- Revisión de conexiones de series.
- Revisión general de estructura metálica (libre de corrosión).
- Limpieza de paneles fotovoltaicos.
- Lijar y pintar partes que presenten corrosión de la estructura metálica.
- Revisión de porta fusibles y fusibles.
- Apreté general de conexiones eléctricas.
- Medición de voltaje del sistema híbrido.

- Motogenerador

Se describen las actividades a realizar en mantenimientos durante la vida útil de motogenerador de acuerdo con la frecuencia en horas de mantenimiento, el MG debe limpiarse con frecuencia si están instalados en zonas arboladas o en atmósferas corrosivas o si se acumula polvo o materia orgánica hojas en descomposición, musgos, deposiciones, y otros, la frecuencia de limpieza debe ser tomada las siguientes condiciones:

- Siempre que sea necesario
- Cada seis meses
- Después de un transporte marítimo o terrestre
- No utilizar uso de abrasivos

El motor puede dañarse si está operado con una cantidad insuficiente de aceite de lubricación, es también peligroso suministrar una cantidad excesiva de aceite de lubricación al motor debido a que un aumento repentino de los RPM del motor puede causar su combustión.

Usar el aceite de lubricación apropiado para mantener el motor en buena condición nada influye mayormente en el rendimiento y la vida del generador que el aceite de lubricación usado.

Si se usa un aceite de calidad menor al recomendado o si no se cambia regularmente el aceite del motor, se aumentará el riesgo de que se atore el pistón, los anillos de pistón y se cause un desgaste rápido de la camisa del cilindro, además de los cojinetes u otros componentes móviles. En este caso la vida útil del generador se reducirá mucho se recomienda usar aceite con la viscosidad apropiada a la temperatura ambiente en la cual se opera el motor.

- Procedimiento para abastecimiento y cambio de aceite

El abastecimiento y el control nivel aceite debe efectuarse con el motor sobre terreno plano:

- Quite el tapón del tanque de aceite
- Rellene de aceite tanque con aceite SAE 15 W-40
- Coloque nuevamente tapón de tanque de aceite
- Revise máximo y mínimo nivel de aceite sacando la varilla

- Procedimiento de cambio de aceite

Realizar las siguientes actividades:

- Remueva tapón de drenaje del carter vierta el aceite en un recipiente adecuado, luego proceda a colocar nuevamente tapón de drenaje.
- Remueva el tapón de tanque de aceite y rellene con aceite.
- Proceda a cambiar filtro de aceite utilizando herramienta adecuada, instale nuevamente filtro de aceite nuevo y apretarlo con la mano.

- Procedimiento de purgado del sistema de inyección.

Se realiza de acuerdo con las actividades siguientes:

- Desatornille el tornillo que está conectado al tubo de retorno de la bomba de inyección.

- Sustituir las dos arandelas de cobre del tornillo y luego volver a enroscar el tornillo de manera provisional evitando que las superficies de las juntas se toquen.
- Colocar la llave en posición *ON* en el *Telys* para alimentar la electroválvula o bomba de alimentación.
- Bombear el combustible manualmente por medio de la palanca sobre la bomba de alimentación mecánica.
- Es obligatorio evitar accionar el mando manual de la bomba de alimentación con el motor en funcionamiento.
- Tras purgar el circuito apretar completamente el tornillo racor en el filtro de combustible.
- Procedimiento control de nivel de abastecimiento y cambio de refrigerante
  - El circuito de refrigeración con líquido está bajo presión, no efectuar controles antes que se enfríe el motor y aún luego abrir con cuidado el tapón del radiador o del depósito de expansión.
  - Retirar el tapón del radiador.
  - Verificar si el refrigerante no recubre los tubos de refrigeración en el interior del radiador, llenar hasta la cubierta de los tubos de 5 mm y volver a poner el tapón.

- Procedimiento de cambio de refrigerante
  - Remueva tapón de la parte inferior del radiador.
  - Vaciar el refrigerante en un recipiente adecuado.
  - Retirar el tapón del radiador.
  - Llenar hasta la cubierta de los tubos de 5 mm y volver a poner el tapón.
  - Revisión de estado de manguera de radiador, si es necesario reemplazar.
  - Revisión de apriete de abrazaderas de manguera.
  
- Procedimiento de limpieza de radiador
  - Para garantizar la operación óptima del radiador y evitar obstrucciones se debe de realizar limpieza al mismo, utilice una bocha y gasóleo para realizar dicha limpieza.
  - Utilizar el aire comprimido para secar cualquier residuo de gasóleo en la superficie del radiador.
  
- Procedimiento comprobación de tensión de faja del alternador

- Efectuar el control solo luego de haber aislado el cable positivo de la batería para prevenir cortocircuitos accidentales y como consecuencia el motor arranque.
  - Comprobar la tensión de la faja del alternador si está con holgura de más de 1 cm, debe corregir la tensión.
  - Si se utiliza el tensiómetro DENSO BTG-2, el valor de tensión correcto en el punto indicado debe ser de 20-25 kg.
  - Para tensar la faja se debe aflojar los 2 tornillos que sujetan el alternador, correr hacia afuera el alternador fije nuevamente los tornillos y comprobar la tensión de la faja.
  - Una vez con la tensión de acuerdo con parámetros proceda a apretar los tornillos que sujetan el alternador utilizando una llave dinamométrica apretar los tornillos de fijación con un par de apriete de 25 N·m a 40 N·m.
- Procedimiento de limpieza o cambio de filtro de aire
    - Remover la tapa.
    - Remover el filtro y golpear suavemente para remover la suciedad.
    - Golpear suavemente el filtro para desprender la suciedad. No lave el filtro de papel ni use aire comprimido, ya que esto dañaría el filtro, si el filtro está dañado se debe de reemplazar.
    - Instalar el filtro en la tapa e instale nuevamente en el Mg.

- Procedimiento de verificación del sistema de admisión de aire

En el sistema de admisión de aire no debe haber fugas de aire, no importa cuán pequeña sea la fuga, esta puede resultar en daños al motor debido a la entrada de polvo y suciedad abrasivos:

- Revisar si las mangueras (tubos) tienen grietas deben de sustituirse según sea necesario.
  - Verificar las abrazaderas (A) de los tubos que conectan el filtro de aire al motor, apretar las mismas como sea necesario.
  - Probar el funcionamiento correcto del indicador (B) de restricción de aire, reemplazar el indicador según sea necesario.
  - Realizar mantenimiento del filtro de aire si fuere necesario.
- Prueba del sistema de enfriamiento
    - El motor debe precalentarse para probar el sistema de enfriamiento completo.
    - Dejar que el motor se enfríe y después retirar la tapa del radiador con cuidado.
    - Llenar el radiador con refrigerante a su nivel de funcionamiento normal.

- Conectar el medidor y el adaptador a la boca de llenado del radiador, presurizar el sistema de enfriamiento del motor al valor específico para el tapón del radiador.
  - Con la presión aplicada, comprobar si hay fugas en las conexiones de mangueras del sistema de enfriamiento, el radiador y el motor en general si se detectan fugas corregirlas, comprobar la presión del sistema de nuevo si no se descubren fugas, pero el manómetro indica una caída en la presión. Es posible que haya fugas de refrigerante dentro del sistema o entre el bloque del motor y la junta de la culata para lo cual deberá de corregirse de inmediato.
- Procedimiento de cambio de refrigerante

El sistema debe de vaciar y enjuagar cada 4 000 horas / 4 años, se debe vaciar de acuerdo con los siguientes pasos:

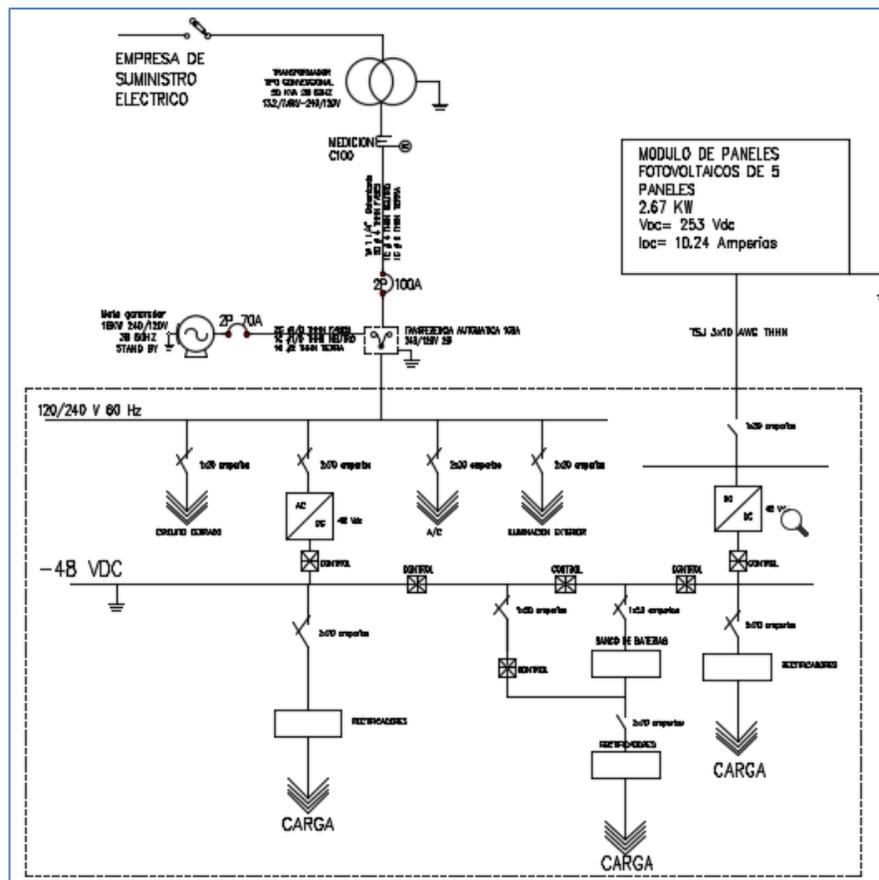
- Abrir lentamente la tapa del radiador.
- Retire el tapón de vaciado del bloque motor (A).
- Abrir la válvula de vaciado del radiador (C), vaciar todo el refrigerante de radiador.
- Una vez vaciado el refrigerante, taponar todos los agujeros.
- Llenar con agua limpia el sistema de enfriamiento del motor, dejar funcionando el motor hasta que el agua pase por el termostato, a fin de que arrastre el óxido y los sedimentos.

- Detener el motor y vaciar el agua del sistema antes de que los sedimentos se vuelvan a depositar.
- Luego de vaciar el agua cerrar todos los orificios de vaciado, llenar el sistema de enfriamiento con un producto de limpieza de sistemas de enfriamiento.
- Tras limpiar el sistema de enfriamiento del motor, cambiar el agente limpiador y llenar con agua para enjuagarlo, poner en funcionamiento el motor hasta que pase el agua por el termostato y vaciar nuevamente el agua.
- Verificar el estado de las mangueras del sistema de enfriamiento, de estar dañadas deben cambiarse de inmediato.
- Cerrar todos los orificios de vaciado y llenado del sistema de enfriamiento.
- Para permitir que escape el aire, al volver a llenar el sistema de enfriamiento, aflojar el sensor de temperatura ((B) sensor de temperatura del refrigerante del motor).
- Dejar funcionar el motor hasta que alcance la temperatura de trabajo y luego revisar el nivel de refrigerante y si existen fugas en el sistema de enfriamiento.

#### 4.2.9. Diagramas unifilares según la potencia demanda de la torre de telecomunicación

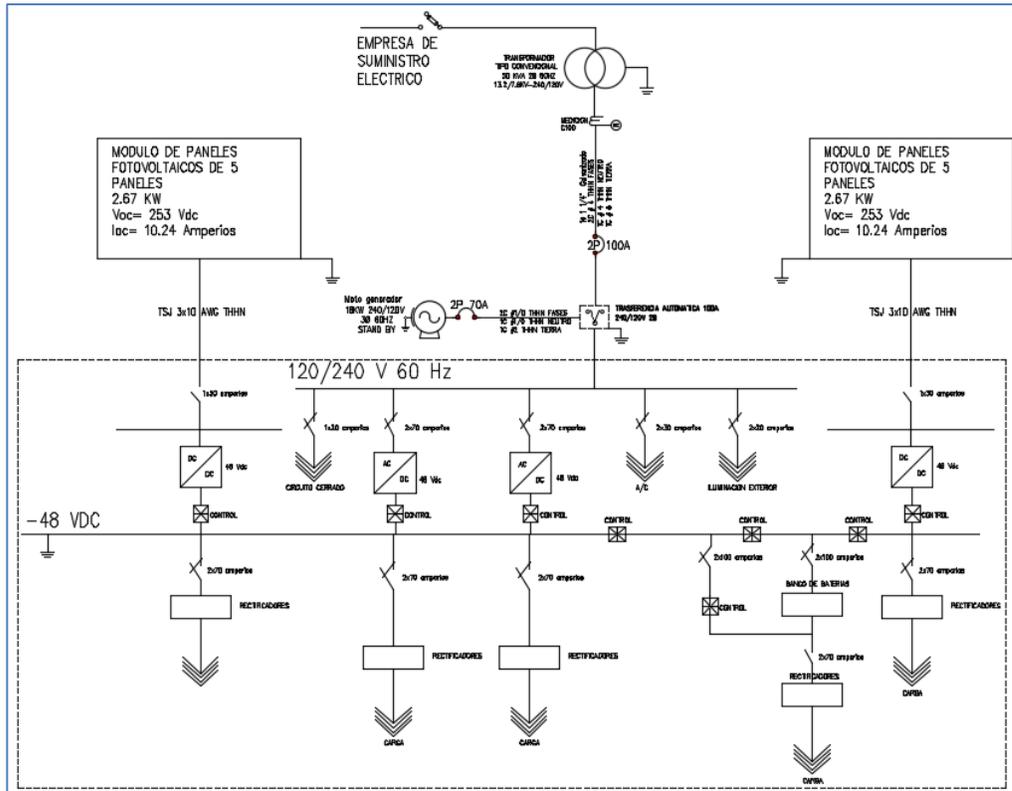
Se diseñaron los diagramas unifilares de acuerdo con la demanda de cada torre de telecomunicación que se trabajará en esta investigación.

Figura 71. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 1,0 KW



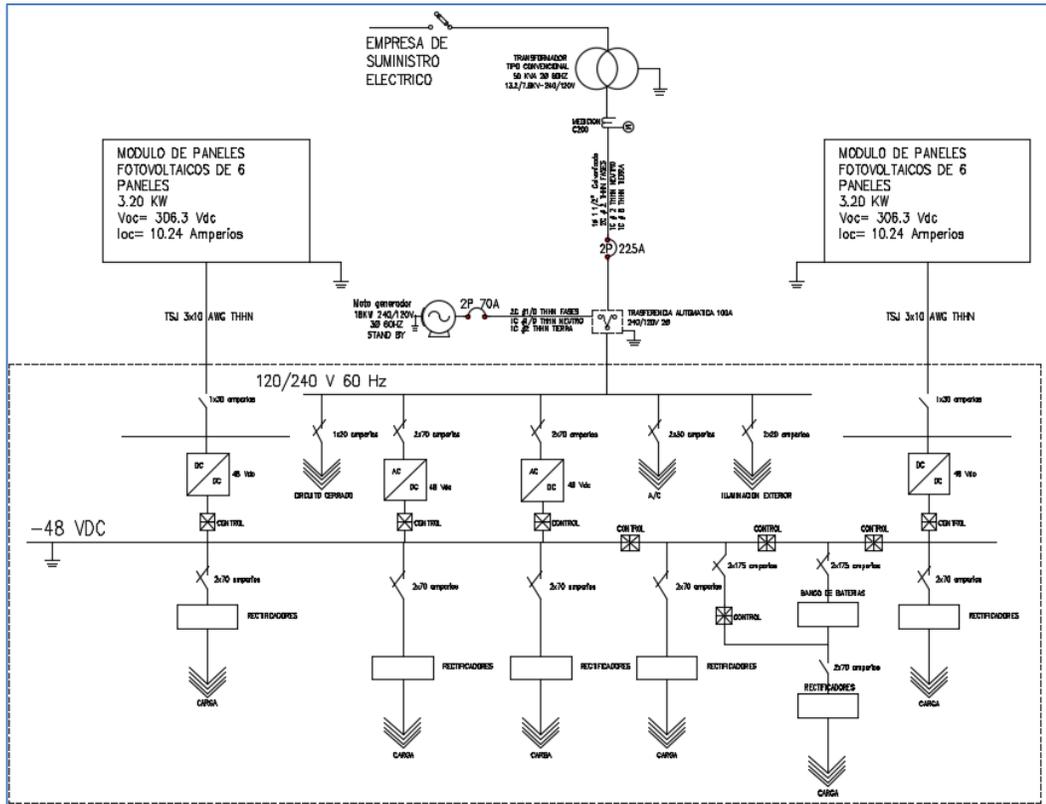
Fuente: elaboración propia.

Figura 72. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 2,0 KW



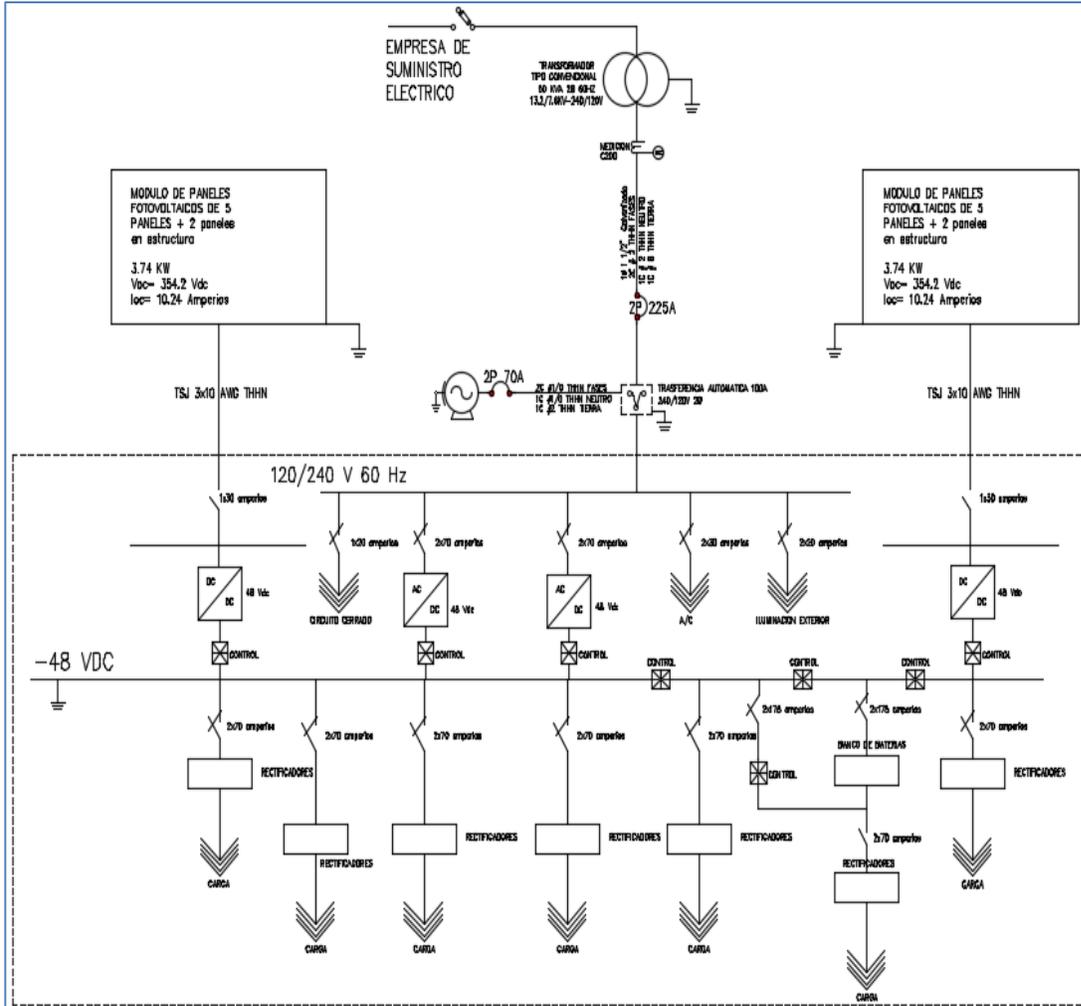
Fuente: elaboración propia.

Figura 73. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 3,5 KW



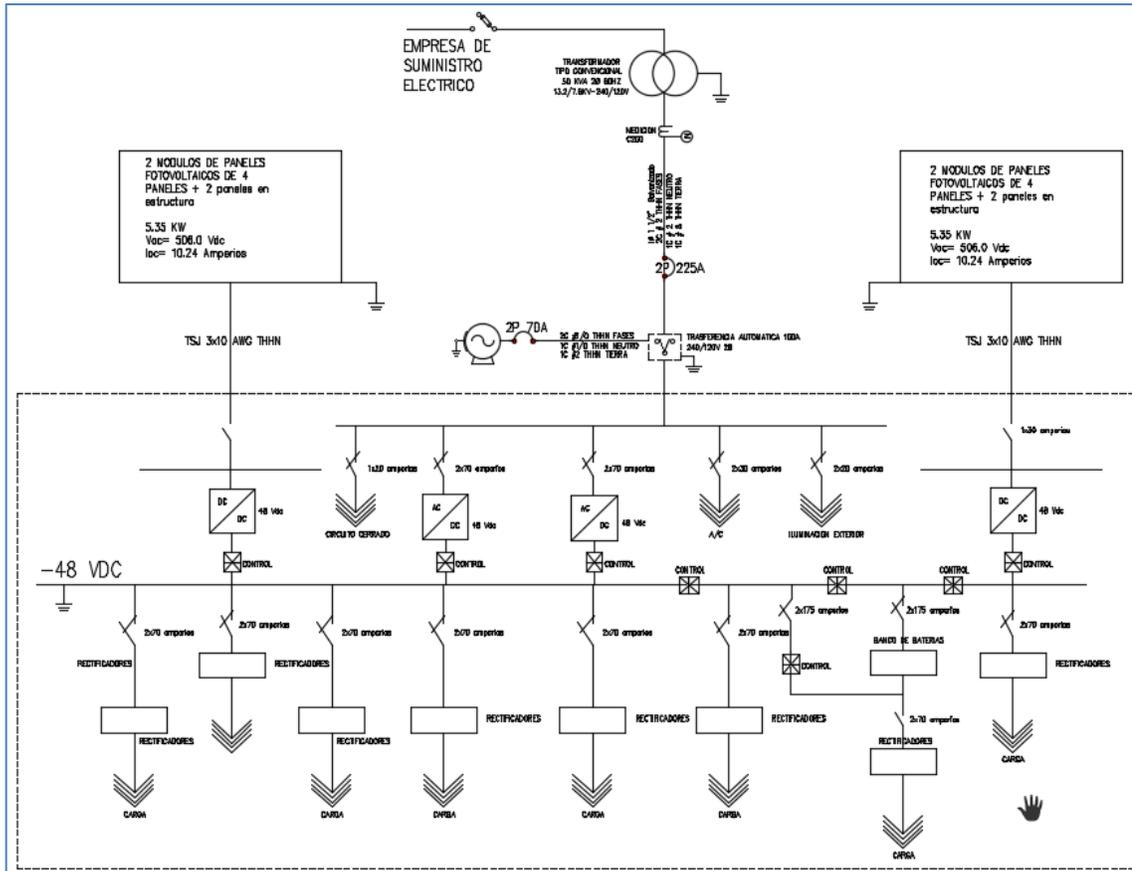
Fuente: elaboración propia.

Figura 74. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 5,0 KW



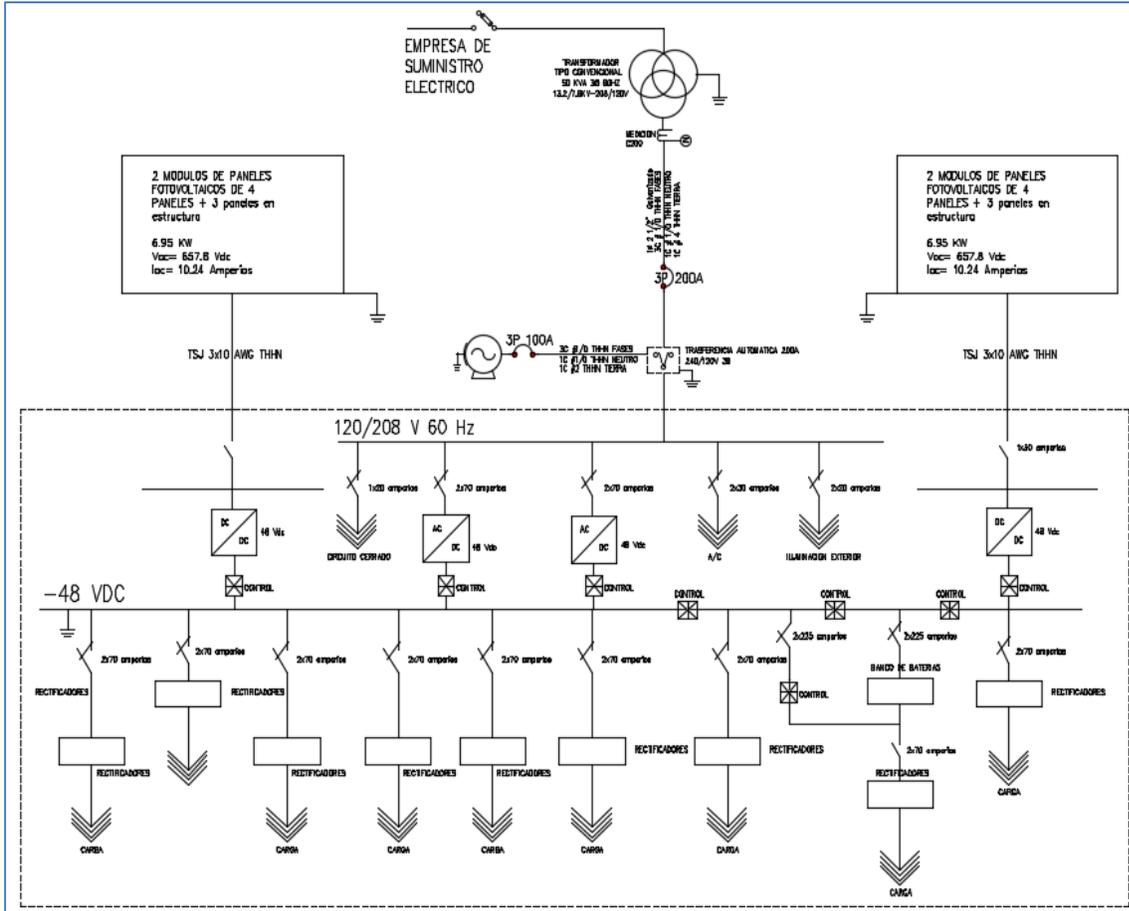
Fuente: elaboración propia.

Figura 75. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 8,0 KW



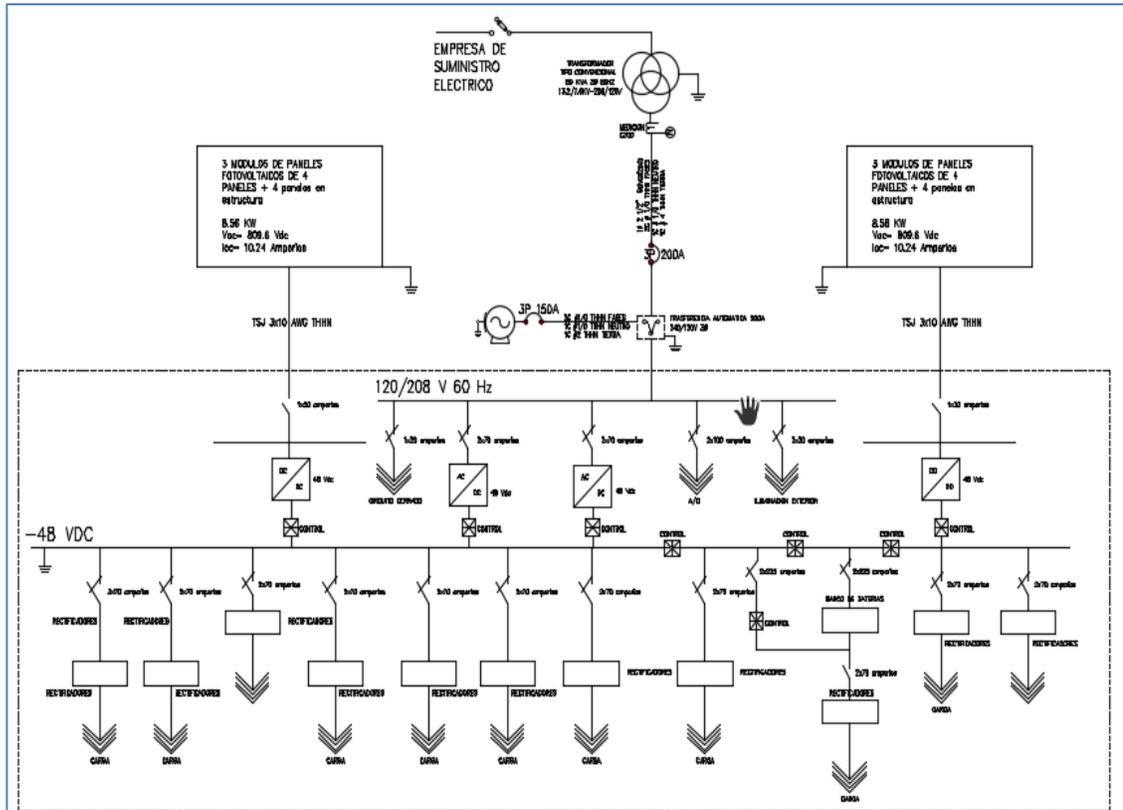
Fuente: elaboración propia.

Figura 76. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 12,0 KW



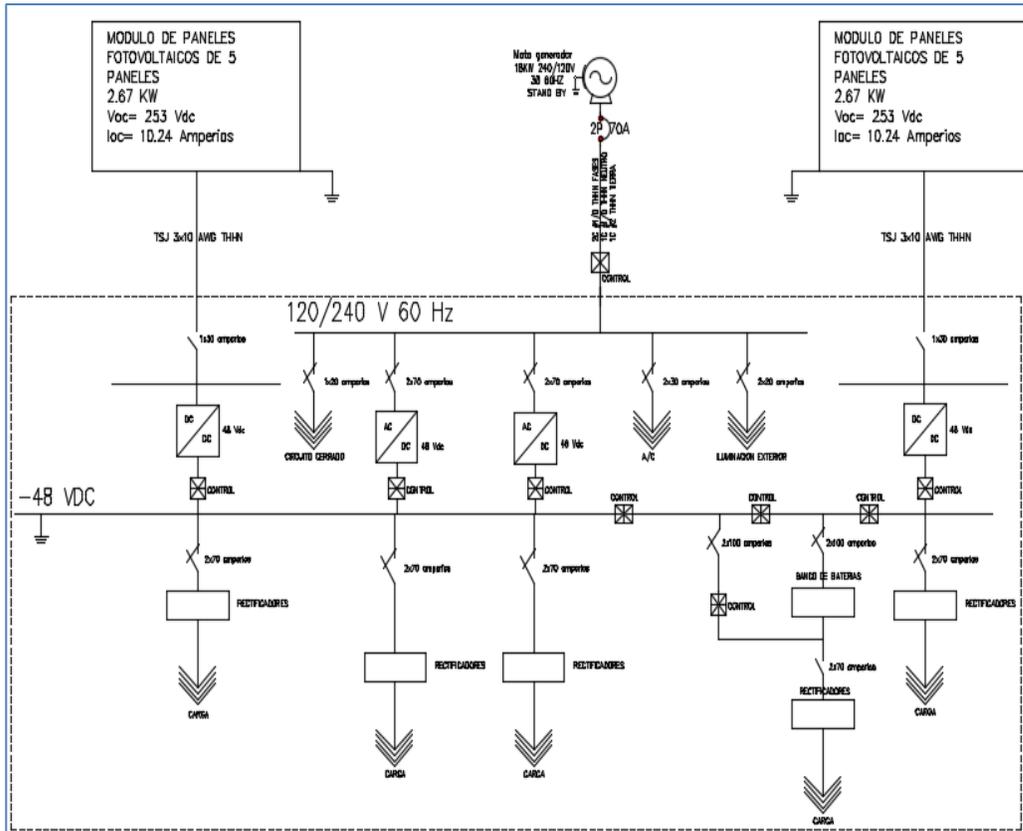
Fuente: elaboración propia.

Figura 77. Unifilar para una torre de telecomunicación con energía eléctrica inestable de 16,0 KW



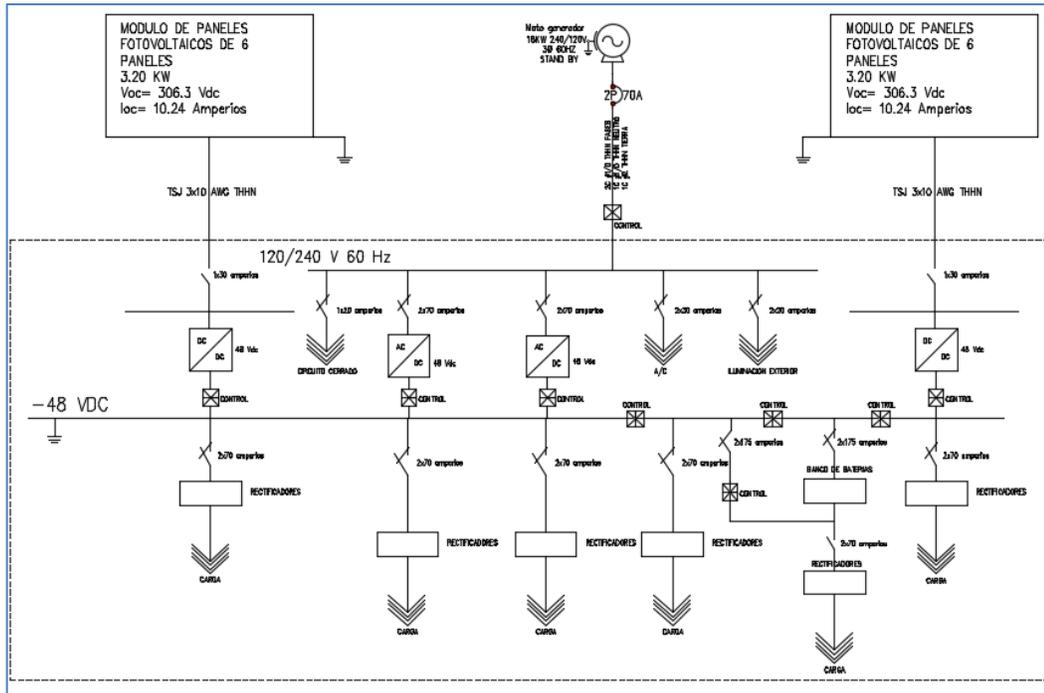
Fuente: elaboración propia.

Figura 78. Unifilar para una torre de telecomunicación sin energía eléctrica de 2,0 KW



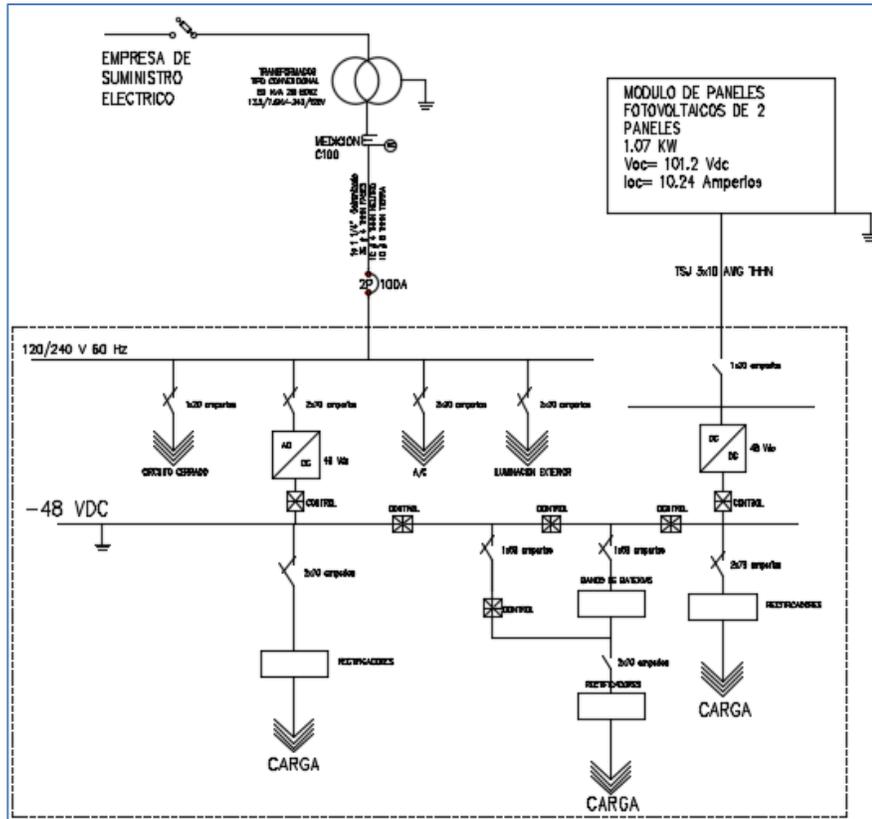
Fuente: elaboración propia.

Figura 79. Unifilar para una torre de telecomunicación sin energía eléctrica de 3,5 KW



Fuente: elaboración propia.

Figura 80. Unifilar para equipo de telecomunicación en poste con energía eléctrica inestable de 1,0 KW



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Cálculo y diseño de sistemas de tierras para el sistema híbrido en torre de telecomunicación

Lo principal de un sistema a tierra es mantener buenos niveles de seguridad del personal, operación de los equipos y desempeño, generando un punto de protección al equipo. Conectando los sistemas a tierra se limitan las sobretensiones eléctricas, transitorios en la red o contacto accidental con líneas de alta tensión.

Estabilizar la tensión eléctrica a tierra durante su funcionamiento normal, los equipos al conectarse a tierra ofrecen un camino de baja impedancia para las corrientes eléctricas de falla facilitando así el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes. Respecto del sistema de puesta a tierra los reglamentos establecen lo siguiente:

- Las instalaciones que lo precisen dispondrán de un número suficiente de puntos de puesta a tierra, distribuidos convenientemente conectadas al mismo electrodo o conjunto de electrodos.
- El punto de puesta a tierra estará constituido por un dispositivo de conexión, que permita la unión entre conductores de las líneas y la principal de tierra, de tal manera que puedan separarse para hacer pruebas y medidas de resistencia de tierra.
- Mantener la diferencia de voltaje bajo, entre diferentes estructuras metálicas resguardando al personal de cualquier corto circuito.
- Tener baja impedancia con el objeto de limitar el voltaje a tierra y así contribuir con un mejor desempeño en la operación de los sistemas de protección, además mantiene un mismo nivel de potencial de tierra en todas las unidades del sistema que están conectados entre sí a tierra al mismo tiempo.

Un diseño correcto del sistema de puesta a tierra es fundamental para asegurar la correcta conducción de una corriente de falla, la resistencia del sistema de puesta a tierra es pequeña para evitar tensiones inducidas.

Tomas de tierra: elemento de unión entre el circuito eléctrico aislado y el terreno. A su vez, la toma de tierra consta de elementos como:

- Electrodo

Elemento metálico que permanece en contacto directo con el terreno, facilitando el paso a este de las corrientes de falla construidos con materiales resistentes a la humedad y la acción química del terreno.

- Línea de enlace con tierra

También conocido como anillo de enlace, está formado por un conjunto de conductores que unen a los electrodos con el punto de puesta a tierra. Debe ser de cobre desnudo, su sección no será inferior a 35 mm<sup>2</sup> y en ningún caso inferior a sus derivaciones.

- Punto de puesta en tierra

Es un punto situado fuera del suelo, generalmente dentro de una caja de registro que sirve de unión entre el anillo de enlace y la línea principal de tierra.

- Conductores de protección

Unen eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, asegurando la protección contra los contactos indirectos manteniendo la seguridad del circuito a tierra, también se le conocen como conductores de protección a los conductores que unen las masas.

- Características eléctricas del suelo

Un parámetro importante en el diseño de un sistema de puesta a tierra es la resistividad del terreno, definida como la capacidad del suelo para conducir corriente ante un campo eléctrico aplicado los factores que influyen en la resistividad del terreno son muchos entre ellos: estratigrafía, compactación, humedad, temperatura. Además, el contenido electrolíticos varía la resistividad de un terreno y se mejora tratándola con sales, geles o abonado electrolítico.

- Medición de la resistividad del suelo

Esta se mide con el objeto de encontrar los puntos óptimos para la colocación de la red de tierra, si se usa un valor incorrecto de resistividad del suelo en la etapa del diseño la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar diferente de lo planeado, trayendo serias consecuencias. Algunos métodos para medir la resistividad son:

- Método de Wenner

Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos colocados en línea recta y a una misma profundidad de penetración las mediciones dependerán de la distancia entre electrodos, de la resistividad del terreno por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño ni del material de los electrodos aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot r}{\left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot a}{(a^2 + 4 \cdot b^2)^{0,5}} \right) - \frac{2 \cdot a}{(4 \cdot a^2 + 4 \cdot b^2)^{0,5}} \right]}$$

Donde:

a= distancia entre electrodos en m

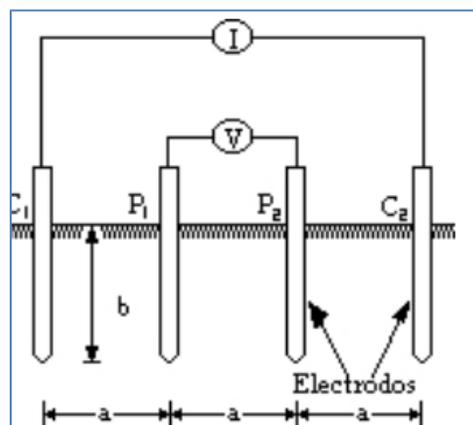
b= profundidad de enterrado de los electrodos en m

r= lectura de la resistencia en el telurómetro en  $\Omega$

Si la distancia enterrada b es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos a ( $a \gg b$ ) la fórmula se simplifica:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot r$$

Figura 81. **Método Wenner**



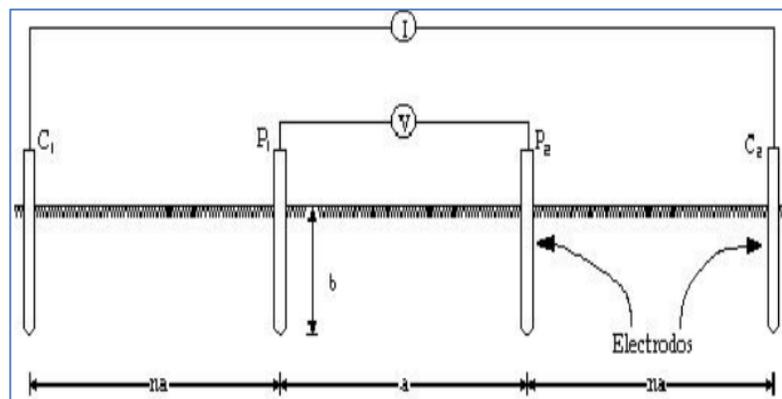
Fuente: RUELAS, Roberto. *Método Wenner*. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.htm](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.htm). Consulta:

15 de abril 2019.

- Método de Schlumberge

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial a se mantiene constante, las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores a distancia múltiplos  $na$  de la separación base de los electrodos internos  $a$ .

Figura 82. **Método Schlumberger**



Fuente: RUELAS, Roberto. *Método Schlumberger*. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.htm](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.htm).

Consulta: 15 de abril 2019.

La resistividad se calcula por:

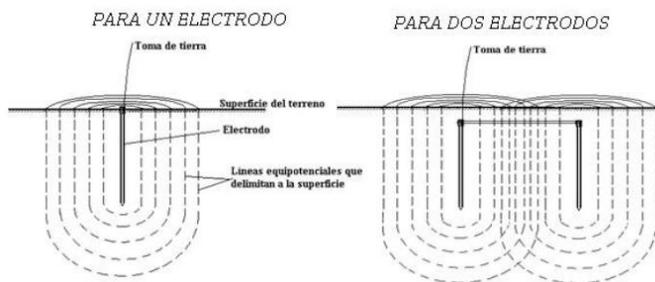
$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (n + 1) \cdot na$$

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes.

- Factor de apantallamiento

La distribución de la corriente sobre el terreno es uniforme si este es homogéneo, las superficies equipotenciales delimitan las zonas del terreno puestas en serie con respecto al paso de la corriente. Las secciones aumentan al alejarse del electrodo y al conectar dos o más electrodos en paralelo mediante uno horizontal de enlace, se dispersa una corriente a tierra este resultado de interacción entre zonas de dispersión provoca un solapamiento entre áreas incrementando la resistencia de paso.

Figura 83. **Curvas equipotenciales**



Fuente: Ruelas, Roberto *Curvas equipotenciales*.

[www.saber.ula.ve/.../eléctrica/sct/resistencia\\_a\\_tierra.pdf](http://www.saber.ula.ve/.../eléctrica/sct/resistencia_a_tierra.pdf). Consulta: 15 de abril 2019.

- Sistema de alimentación CD

Sistemas eléctricos en CD de no más de 300 V no requieren conexión a neutro, a menos de que alguna de las siguientes condiciones se cumpla:

- Suministren energía a sistemas industriales en áreas limitadas y sean equipados con un detector de tierra.
- Operen a menos de 50 V entre conductores.

- Sean alimentados con un rectificador desde un sistema en CA aterrizado.

En la sección 250 162 del NEC, trata dos sistemas CD, de dos y tres hilos, dichos sistemas son:

- Un sistema de dos hilos entre 50 y 300 voltios
- Un sistema de 3 hilos que suministra el cableado del edificio

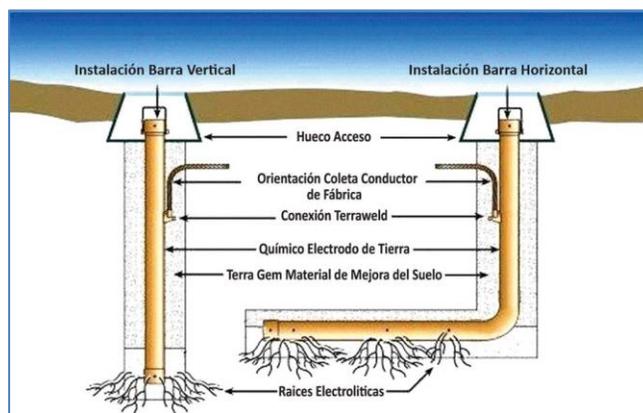
El sistema a tierra que se utilizará en el sistema híbrido es mediante un electrodo químico *Terratec*, es una varilla hueca para suelo de alta resistividad fabricada de cobre conteniendo sales especiales electrolíticas e higroscópicas cuya función es incrementar la conductividad del suelo reduciendo la resistencia. También optimiza su desempeño utilizando una combinación especial de sales activos (cloruros).

Dichas sales toman la humedad del aire formando una solución electrolítica, la cual provee una alta conductividad en el suelo, estos tipos de electrodos químicos están disponibles en dos diseños básicos vertical y horizontal.

- Beneficios del sistema puesta a tierra con electrodo químico
  - Garantiza la integridad física de aquellos que operan con equipos eléctricos.
  - Evitar voltajes peligrosos entre estructuras, equipos y el terreno durante fallas o en condiciones normales de operación.

- Dispersa las pequeñas corrientes provenientes de los equipos electrónicos.
- Dispersa a tierra las corrientes de falla y las provenientes de sobretensiones ocasionadas por rayos, descargas en líneas o contactos no intencionales con la estructura metálica de un equipo electrónico.

Figura 84. **Diseño de barra química para sistema puesta a tierra**



Fuente: RUELAS, Roberto. *Diseño de barra química para sistema puesta a tierra.*  
[www.saber.ula.ve/.../eléctrica/sct/resistencia\\_a\\_tierra.pdf](http://www.saber.ula.ve/.../eléctrica/sct/resistencia_a_tierra.pdf). Consulta: 15 de abril 2019.

- **Instalación vertical de barra química**

La barra química *TERRATEC* instalada en forma vertical es realizada de la forma siguiente:

- Se realiza la perforación del terreno a la profundidad y diámetro requerido según diseño.

- Se llena la barra química con las sales conductivas electrolíticas con objeto de incrementar la conductividad del suelo circundante.
  - Se introduce la barra química dentro del hueco manteniéndola suspendida en el centro si llegar a topar con el fondo.
  - Realizar las interconexiones necesarias al conductor soldado de fábrica a la barra y el conductor de puesta a tierra del sistema, mediante soldadura exotérmica.
  - Se vierte bentonita natural como material de relleno en el fondo del hueco hasta alcanzar una altura de la sección de la barra química suspendida.
  - Completar el relleno con un producto mejorador de la condición del suelo (*EXSOGEL*) sin alcanzar el tope de la barra química.
  - Colocar la caja de registro la cual permitirá la necesaria entrada de aire y humedad, así como las eventuales inspecciones y futuras recargas de sales de ser requerido.
- Instalación horizontal de barra química

Para instalar la barra química *TERRATEC* en forma horizontal siga los siguientes pasos:

- Efectúe la excavación de la zanja o canal en el suelo a la profundidad, ancho y largo requerido según diseño.

- Se llena la barra química con las sales conductivas electrolíticas al objeto de incrementar la conductividad del suelo circundante.
- Se introduce la barra química dentro del hueco manteniéndola suspendida en el centro si llegar a topar con el fondo.
- Realizar las interconexiones necesarias al conductor soldado de fábrica a la barra y el conductor de puesta a tierra del sistema, mediante soldadura exotérmica.
- Se vierte bentonita natural como material de relleno a todo lo largo de la zanja o canal en su fondo hasta alcanzar una altura de la sección de la barra química suspendida.
- Completar el relleno con un producto mejorador de la condición del suelo (*EXSOGEL*) sin alcanzar el tope de la barra química.
- Completar el relleno en la sección horizontal del electrodo con material propio del suelo excavado.
- Colocar la arqueta de registro la cual permitirá la necesaria entrada de aire y humedad, de igual forma permitirá realizar inspecciones y futuras recargas de ser requerido.

#### **4.4. Viabilidad económica y técnica de la implementación del sistema híbrido a torres de telecomunicación**

Se puede definir la viabilidad económica y técnica como la disciplina formal a utilizarse para evaluar un proyecto, se puede decir también que es el proceso de planeamiento informal para toma de decisiones lo que involucra explícita e implícitamente el gasto previstos totales o parciales del proyecto, en contra del total de los beneficios que conllevara realizarlo con el fin de verificar si el proyecto es rentable.

La viabilidad económica y técnica es un razonamiento basado en el principio de obtener las mayores y los mejores resultados en un bajo costo invertido, tanto por la eficiencia técnica como por motivación humana se supone que todo esto se puede evaluar según este razonamiento donde los beneficios superan el costo con éxito o en caso contrario se fracasa.

El análisis de la viabilidad económica y técnica es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de decisiones, este análisis pretenderá determinar la conveniencia del proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de costos y beneficios derivados directos e indirectos del proyecto. Con el desarrollo de los cálculos correspondientes a los costos cada sistema híbrido, se podrá obtener una serie de conclusiones.

En comparación con el costo de la generación de la energía eléctrica de modo convencional es decir que se aprovecharan energías renovables. Así mismo se demuestra el gran beneficio socioambiental obtenido al representar la cifra de toneladas de emisión de bióxido de carbono evitadas, no emitidas al ambiente en comparación con la emisión de dichos gases contaminantes

ocasionada por la quema de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica de modo convencional.

Con el desarrollo final del costo total del 100 % de la instalación de equipo híbrido en torres de telecomunicación de bajo consumo se podrá obtener un resultado aproximado respecto a la recuperación de la inversión y de la posible ganancia obteniendo finalmente la conclusión del análisis del proyecto.

#### **4.4.1. Costo de instalación y equipamiento**

El costo de la instalación del sistema híbrido será calculado mediante varios aspectos por tomar como transporte del traslado del equipo hacia la torre de telecomunicación, así también la mano de obra de la movilización del equipo del lugar hacia el vehículo que lo transportará como el descargo del equipo en la torre de telecomunicación.

Se tomará en cuenta la mano de obra por la instalación de cada equipo lo cual se dividirá en instalación de banco de baterías, instalación de paneles fotovoltaicos, la instalación de la estructura de los paneles fotovoltaicos, la estructura que protegerá al motogenerador, la instalación del moto generador y la instalación del AT´S donde se utilizará.

Tabla XX. **Estimación de instalación del sistema híbrido en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades / personas</b>	<b>Total</b>
1	Transporte	Q 500,00	30	Q 15 000,00
2	Mano de obra	Q 125,00	20	Q 2 500,00
3	Inst. paneles	Q 125,00	119	Q 14 875,00
4	Inst. Bco. Baterías	Q 1 200,00	7	Q 8 400,00
5	Inst. estructura de paneles	Q 500,00	16	Q 8 000,00
6	Inst. estructura de motogenerador	Q 750,00	7	Q 5 250,00
7	Inst. motogenerador	Q 1 200,00	7	Q 8 400,00
8	Inst. AT´S	Q 450,00	7	Q 2 800,00
9	Inst. control	Q 650,00	7	Q 4 550,00
10	Gastos varios	Q 10 000,00	1	Q 10 000,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 79 775,00</b>
	<b>Inst. por sitio</b>		<b>7</b>	<b>Q 11 396,00</b>

Fuente: elaboración propia.

La estimación de la instalación para el sistema híbrido se realizó para 7 sitios con potencias de 1,0 KW, 2,0 KW, 3,5KW, 5,0 KW, 8,0 KW, 12,0 KW y 16,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable.

Tabla XXI. **Estimación de instalación del sistema híbrido en torres de telecomunicación sin energía eléctrica**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades / personas</b>	<b>Total</b>
1	Transporte	Q 500,00	20	Q 10 000,00
2	Mano de obra	Q 125,00	15	Q 1 875,00
3	Inst. paneles	Q 125,00	27	Q 3 375,00
4	Inst. Bco. Baterías	Q 1 200,00	3	Q 3 600,00
5	Inst. estructura de paneles	Q 500,00	8	Q 4 000,00
6	Inst. estructura de motogenerador	Q 750,00	3	Q 2 250,00
7	Inst. motogenerador	Q 1 200,00	3	Q 3 600,00
8	Inst. control	Q 650,00	3	Q 1 950,00
9	Gastos varios	Q 10 000,00	1	Q 10 000,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 40 650,00</b>
	<b>Inst. por sitio</b>		<b>3</b>	<b>Q 13 550,00</b>

Fuente: elaboración propia.

La estimación de la instalación para el sistema híbrido se realizó para 3 sitios con potencias de 1,0 KW, 2,0 KW, 3,5 KW, en torres de telecomunicación sin energía eléctrica.

Tabla XXII. **Estimación de instalación del sistema híbrido en poste con energía eléctrica inestable**

No	Descripción	Costo	Unidades / personas	Total
1	Transporte	Q 500,00	5	Q 2 500,00
2	Mano de obra	Q 125,00	8	Q 1 000,00
3	Inst. paneles	Q 125,00	2	Q 250,00
4	Inst. bco. Baterías	Q 500,00	1	Q 500,00
5	Inst. estructura de equipo	Q 500,00	1	Q 500,00
6	Inst. control	Q 650,00	1	Q 650,00
7	Inst. poste	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
8	Gastos varios	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 15 400,00</b>

Fuente: elaboración propia.

La estimación de la instalación para el sistema híbrido se realizó para 1 sitio con potencias de 1,0 KW, en equipos de telecomunicación en poste con energía eléctrica inestable.

El costo de equipamiento del sistema híbrido será calculado mediante los equipos que serán utilizados según la potencia demandada de la torre de telecomunicación y equipo de telecomunicación en poste.

Tabla XXIII. **Estimación de costos en equipos del sistema híbrido en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

No	Descripción	Costo	Unidades / personas	Total
1	Paneles solares 535W	Q 2 100,00	119	Q 249 900,00
2	Banco de baterías 48Vdc	Q 34 000,00	7	Q 238 000,00
3	Estructura de paneles	Q 2 500,00	16	Q 40 000,00
4	Estructura de Motogenerador	Q 3 500,00	7	Q 24 500,00
5	Motogenerador 18KW	Q 40 000,00	7	Q 280 000,00
6	AT´S 100 Amp.	Q 12 500,00	7	Q 87 500,00
7	Inversores DC/AC	Q 8 500,00	7	Q 59 500,00
8	Inversores AC/DC	Q 8 500,00	7	Q 59 500,00
9	Controlador solar	Q 5 000,00	7	Q 35 000,00
10	Controlador de baterías	Q 7 500,00	7	Q 52 500,00
11	Controlador de MG	Q 8 750,00	7	Q 61 250,00
12	Tornillería varia	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
13	Pintura	Q 3 500,00	1	Q 3 500,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 1 195 250,00</b>
	<b>Precio por sitio</b>		<b>7</b>	<b>Q 170 750,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Estimación de costos en equipos del sistema híbrido en torres de telecomunicación sin energía eléctrica**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades / personas</b>	<b>Total</b>
1	Paneles solares 535W	Q 2 100,00	27	Q 56 700,00
2	Banco de baterías 48Vdc	Q 34 000,00	3	Q 102 000,00
3	Estructura de paneles	Q 2 500,00	5	Q 12 500,00
4	Estructura de Motogenerador	Q 3 500,00	3	Q 10 500,00
5	Motogenerador 18KW	Q 40 000,00	3	Q 120 000,00
6	Inversores DC/AC	Q 8 500,00	3	Q 25 500,00
7	Inversores AC/DC	Q 8 500,00	3	Q 25 500,00
8	Controlador solar	Q 5 000,00	3	Q 15 000,00
9	Controlador de baterías	Q 7 500,00	3	Q 22 500,00
10	Controlador de MG	Q 8 750,00	3	Q 26 250,00
11	Tornillería varia	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
12	Pintura	Q 3 500,00	1	Q 3 500,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 424 950,00</b>
	<b>Precio por sitio</b>		3	<b>Q 141 650,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Estimación de costos en equipos del sistema híbrido en postes con energía eléctrica inestable**

No	Descripción	Costo	Unidades / personas	Total
1	Paneles solares 535W	Q 2 100,00	2	Q 4 200,00
2	Banco de baterías 48Vdc	Q 1 200,00	1	Q 1 200,00
3	Estructura de paneles	Q 500,00	1	Q 500,00
4	Inversores DC/AC	Q 1 500,00	1	Q 1 500,00
5	Inversores AC/DC	Q 1 500,00	1	Q 1 500,00
6	Controlador solar	Q 2 000,00	1	Q 2 000 00
7	Controlador de baterías	Q 1 500,00	1	Q 1 500,00
8	Tornillería varia	Q 1 000,00	1	Q 1 000,00
9	Pintura	Q 1 500,00	1	Q 1 500,00
10	Poste de 10 pies	Q 2 500,00	1	Q 2 500,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 17 400,00</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Costo de obra civil

El cálculo corresponde a la valoración que se tendrá aproximadamente por la construcción de las bases en la que se colocará el motogenerador, la estructura de los paneles fotovoltaicos y el banco de baterías. Con acabados medios se determina que un metro cuadrado tiene un costo de Q 1 933,00  $m^2$ , el cual se desglosa de en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Estimación de costos en obra civil por  $m^2$  para el equipo híbrido**

No	Descripción	Costo	Unidades / personas	Total
1	Sacos de cemento	Q 100,00	2	Q 200,00
2	Arena de río $m^2$	Q 185,00	1	Q 150,00
3	Sacos de cal	Q 100,00	1	Q 100,00
4	Piedrín 3/4	Q 185,00	1	Q 185,00
5	Hierro quintal de 3/8	Q 500,00	1/2	Q 250,00
6	Madera para realizar la base	Q 70,00	2	Q 140,00
7	clavos	Q 8,50	1	Q 8,50
8	Mano de obra	Q 200,00	2	Q 400,00
9	Transporte	Q 500,00	1	Q 500,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 1 933,50</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Estimación de costos de obra civil para bases que soportará el equipo híbrido**

No	Descripción	Costo Por $m^2$	$m^2$	Total
1	Base para Mg	Q 1 933,50	2,5	Q 4 833,75
2	Base para Bco. de baterías	Q 1 933,50	2	Q 3 867,00
3	Base para estructura de paneles fotovoltaicos	Q 1 933,50	3	Q 5 800,50
4	Base para poste	Q 1 933,50	1	Q 1 933,50
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 16 434,75</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.3. Costo del sistema híbrido

Se analizará el costo de cada sistema híbrido según sea su capacidad, ya que de acuerdo con la capacidad aumentará su costo o disminuirá.

Tabla XXVIII. **Estimación de costos del sistema híbrido de 1,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

No	Descripción	Costo	Unidades	Total
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 149 750,00	1	Q 149 750,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 175 646,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Estimación de costos del sistema híbrido de 2,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

No	Descripción	Costo	Unidades	Total
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 160 250,00	1	Q 160 250,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base Bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Estimación de costos del sistema híbrido de 3,5 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 164 450,00	1	Q 164 450,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 190 346,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Estimación de costos del sistema híbrido de 5,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 168 650,00	1	Q 168 650,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base Bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 194 546,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Estimación de costos del sistema híbrido de 8,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 181 250,00	1	Q 181 250,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867 00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800.00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 207 146,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Estimación de costos del sistema híbrido de 12,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 193 850,00	1	Q 193 850,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 219 746,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Estimación de costos del sistema híbrido de 16,0 KW en torres de telecomunicación con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 206 450,00	1	Q 206 450,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 232 346,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Estimación de costos del sistema híbrido de 2,0 KW en torres de telecomunicación sin energía eléctrica**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 13 550,00	1	Q 13 550,00
2	Equipo	Q 147 750,00	1	Q 147 750,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base Bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 175 800,75</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Estimación de costos del sistema híbrido de 3,5 KW en torres de telecomunicación sin energía eléctrica**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 11 396,00	1	Q 11 396,00
2	Equipo	Q 151 950,00	1	Q 151 950,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3,867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 151 950,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Estimación de costos del sistema híbrido de 1,0 KW en equipos de telecomunicación en poste con energía eléctrica inestable**

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
1	Instalación	Q 15 400,00	1	Q 15 400,00
2	Equipo	Q 17 400,00	1	Q 17 400,00
3	Base para Mg	Q 4 833,75	1	Q 4 833,75
4	Base bco. batería	Q 3 867,00	1	Q 3 867,00
5	Base paneles fotovoltaicos	Q 5 800,00	1	Q 5 800,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 47 300,75</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.4. Costo de mantenimiento del sistema híbrido

El costo del mantenimiento dependerá de la capacidad de cada sitio, ya que a una mayor capacidad el sistema contará con más equipo, por lo que llevará un tiempo adicional por la cantidad de equipos que conformará cada sistema híbrido.

Tabla XXXVIII. **Estimación de costo de mantenimiento en los sistemas híbridos**

No	Descripción	Costo	Unidades	Total
1	Paneles solares	Q 75,00	119	Q 8 925,00
2	Motogenerador	Q 2 500,00	10	Q 25 000,00
3	Banco de baterías	Q 1 500,00	10	Q 15 000,00
4	Materiales varios	Q 10 000,00	1	Q 10 000,00
5	Banco de baterías en poste	Q 750,00	1	Q 750,00
	<b>TOTAL</b>			<b>Q 59 675,00</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.5. Cálculo de la producción anual esperada

La operación de un panel fotovoltaico está directamente en función de la cantidad de radiación solar que incida en su superficie, por lo tanto, durante el periodo de operación (aproximadamente de las 6:30 a.m. a las 17:30 p.m.), su capacidad de entregar potencia irá aumentando conforme aumente la cantidad de insolación, y viceversa. La capacidad de un sistema fotovoltaico a la salida del inversor se define en Wp (vatio pico).

Dicha capacidad determina la cantidad máxima de potencia en vatio que el sistema fotovoltaico podrá entregar. La potencia pico del sistema se alcanza cuando a los módulos fotovoltaicos les llega la mayor cantidad de insolación, dentro de su intervalo de tiempo de operación donde se presenta la curva de operación del sistema fotovoltaico que se propone en este trabajo, el cual está diseñado para producir unos 535 Wp bifacial a la salida del inversor por panel fotovoltaico.

Los valores de salida del campo fotovoltaico son los de entrada para el inversor con capacidad de entregar, según se la capacidad de cada torre de telecomunicación, con un amplio rango de voltaje de alimentación que para este caso específico es de 800 voltios (según el modelo) y 120/240 voltios 50 o 60 Hz de AC de salida, lo que implica que hay una alta compatibilidad entre la salida del campo fotovoltaico y la entrada de DC del inversor. Por la cantidad de potencia del campo de los módulos fotovoltaicos, el inversor fue sobredimensionado previendo posibles ampliaciones en el futuro.

Hasta antes de las 6:30 a.m. la producción de energía del sistema es prácticamente nula, pero a partir de allí comienza a elevarse conforme avanza la hora del día debido al aumento de la radiación solar sobre la superficie del panel, coincidiendo la producción de la potencia pico con la hora de máxima radiación solar (entre las 11:30 a.m. y las 1:30 p.m.) dependiendo la zona y conforme la radiación solar va en decremento, también la potencia del sistema lo hará.

Tabla XXXIX. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 1,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	17,00 – 144,00	80,60	80,60
7:30 a 8:30	144,00 – 946,70	543,50	543,50
8:30 a 9:30	946,70 – 955,70	951,88	951,88
9:30 a 10:30	955,20 – 965,20	960,14	960,14
10:30 a 11:30	965,20 – 967,40	973,10	973,10
11:30 a 12:30	967,40 – 965,70	793,30	793,30
12:30 a 13:30	965,70– 975,70	968,40	968,40
13:30 a 14:30	975,70–1 022,20	988,34	988,34
14:30 a 15:30	1 022,20 –899,40	967,58	967,58
15:30 a 16:30	899,40– 297,20	594,50	594,50
16:30 a 17:30	297,2 – 2,50	113,84	113,84
<b>Total de producción al día</b>			<b>7 915,18</b>

Fuente: elaboración propia.

La producción de energía durante un día es entonces 7,915 Kwh/día.  
 Durante un mes la energía será: (7,915 KWh/día) (30días) = 237,45 KWh/mes.  
 Pero la energía de todo un año es: (237,45 KWh/mes) (12 meses). Producción anual de energía esperada: 2 849,40 KWh/año.

Tabla XL. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 2,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	43,60 – 812,90	343,20	343,20
7:30 a 8:30	812,90 – 1 193,40	1 043,40	1 043,40
8:30 a 9:30	1 193,40 – 1 275,62	1 215,62	1 215,62
9:30 a 10:30	1 275,62 – 1 282,90	1 248,84	1 248,84
10:30 a 11:30	1 282,90 – 1 230,00	1 248,86	1 248,86
11:30 a 12:30	1 230,00 – 1 250,00	1 244,44	1 244,44
12:30 a 13:30	1 250,00 – 1 257,90	1 246,00	1 246,00
13:30 a 14:30	1 257,90 – 1 194,30	1 236,98	1 236,98
14:30 a 15:30	1 194,30 – 964,40	1 124,32	1 124,32
15:30 a 16:30	964,40 – 228,60	610,50	610,50
16:30 a 17:30	228,60 – 15,00	70,28	70,28
<b>Total de producción al día</b>			<b>10 632,44</b>

Fuente: elaboración propia.

La producción de energía durante un día es entonces 10,632 Kwh/día. Durante un mes la energía será: (10,632 KWh/día) (30días) = 318,96 KWh/mes. Pero la energía de todo un año es: (318,96 KWh/mes) (12 meses). Producción anual de energía esperada: 3 827,52 KWh/año.

Tabla XLI. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 3,5 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	1 367,80 –2 611,30	2 006,16	2 006,16
7:30 a 8:30	2 611,30 –2 956,20	2 862,80	2 862,80
8:30 a 9:30	2 956,20 –2 982,40	2 959,72	2 959,72
9:30 a 10:30	2 982,40 –2 997,30	2 963,40	2 963,40
10:30 a 11:30	2 997,30 –2 951,70	2 953,48	2 953 48
11:30 a 12:30	2 951,70 –1 206,00	2 413,96	2 413,96
12:30 a 13:30	1 206,00 –1 257,90	1 246,00	1 246,00
13:30 a 14:30	1 257,90 –1 194,30	1 236,98	1 236,98
14:30 a 15:30	1 194,30 – 964,40	1 124,32	1 124,32
15:30 a 16:30	964,40 – 550,60	610,50	610,50
16:30 a 17:30	550,60 – 300,00	275,60	275,60
<b>Total de producción al día</b>			<b>20 652,92</b>

Fuente elaboración propia

La producción de energía durante un día es entonces 20,653 Kwh/día. Durante un mes la energía será: (20,653 KWh/día) (30días) = 619,59 KWh/mes. Pero la energía de todo un año es: (619,59 KWh/mes) (12 meses). Producción anual de energía esperada:7 435,08 KWh/año.

Tabla XLII. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 5,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	1 567,80 –2 811,30	2 206,16	2 206,16
7:30 a 8:30	2 811,30 –3 106,20	2 962,80	2 962,80
8:30 a 9:30	3 106,20 –3 482,40	3 259,72	3 259,72
9:30 a 10:30	3 482,40 –3 997,30	3 863,40	3 863,40
10:30 a 11:30	3 997,30 –4 551,70	4 253,48	4 253,48
11:30 a 12:30	4 551,70 –4 906,00	4 813,96	4 813,96
12:30 a 13:30	4 906,00 –5 257,90	5 206,00	5 206,00
13:30 a 14:30	5 257,90 –5 494,30	5 236,98	5 236,98
14:30 a 15:30	5 494,30– 3 200,40	2 824,32	2 824,32
15:30 a 16:30	3 200,40 –1 250,60	910,50	910,50
16:30 a 17:30	1 250,60 – 500,00	375,60	375,60
<b>Total de producción al día</b>			<b>35 912,92</b>

Fuente: elaboración propia.

La producción de energía durante un día es de 35,913 Kwh/día. Durante un mes la energía será: (35,913 KWh/día) (30 días) = 1 007,39 KWh/mes. Pero la energía de todo un año es de (1 007,39 KWh/mes) (12 meses). Producción anual de energía esperada: 12 928,68 KWh/año.

Tabla XLIII. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 8,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	1 667,80 –2 911,30	2 306,35	2 306,35
7:30 a 8:30	2 911,30 –3 256,20	3 062,80	3 062,80
8:30 a 9:30	3 256,20 –3 482,40	3 359,72	3 359,72
9:30 a 10:30	3 482,40 –4 097,30	3 963,40	3 963,40
10:30 a 11:30	4 097,30 –4 951,70	4 853,48	4 853,48
11:30 a 12:30	4 851,70 –5 906,00	5 813,96	5 813,96
12:30 a 13:30	5 906,00 –6 557,90	6 306,00	6 306,00
13:30 a 14:30	6 557,90 –7 894,30	7 836,98	7 236,98
14:30 a 15:30	7 894,30– 3 200,40	2 824,32	2 824,32
15:30 a 16:30	3 200,40 –1 250,60	1 010,50	1 010,50
16:30 a 17:30	1 250,60 – 800,00	575,60	575,60
<b>Total de producción al día</b>			<b>41 313,11</b>

Fuente: elaboración propia

La producción de energía durante un día es entonces 41,313 Kwh/día.  
Durante un mes la energía será:

$$(41,313 \text{ KWh/día}) (30 \text{ días}) = 1 239,39 \text{ KWh/mes.}$$

Pero la energía de todo un año es: (1 239,39 KWh/mes) (12 meses). La producción anual de energía esperada es de 14 872,68 KWh/año.

Tabla XLIV. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 12,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	1 867,80 –2 951,30	2 406,35	2 406,35
7:30 a 8:30	2 951,30 –3 466,20	3 262,80	3 262,80
8:30 a 9:30	3 466,20 –4 482,40	4 359,72	4 359,72
9:30 a 10:30	4 482,40 –5 097,30	4 863,40	4 863,40
10:30 a 11:30	5 097,30 –6 951,70	5 853,48	5 853,48
11:30 a 12:30	6 851,70 –8 906,00	8 813,96	8 813,96
12:30 a 13:30	8 906,00 –11 557,90	9 306,00	9 306,00
13:30 a 14:30	11 557,90–11 894,30	10 836,98	10 836,98
14:30 a 15:30	11 894,30 – 6 200,40	5 824,32	5 824,32
15:30 a 16:30	6 200,40 – 2 250,60	1 510,50	1 510,50
16:30 a 17:30	2 250,60 – 900,00	675,60	675,60
<b>Total de producción al día</b>			<b>57 713,11</b>

Fuente: elaboración propia

La producción de energía durante un día es entonces 57,713 Kwh/día.  
Durante un mes la energía será:

$$(57,713 \text{ KWh/día}) (30 \text{ días}) = 1 731,39 \text{ KWh/mes.}$$

Pero la energía de todo un año es: (1 731,39 KWh/mes) (12 meses). La producción anual de energía esperada es de 20 776,68 KWh/año.

Tabla XLV. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de una torre de telecomunicación de 16,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	1 967,80 –3 651,30	3 406,35	3 406,35
7:30 a 8:30	3 651,30 –4 266,20	4 062,80	4 062,80
8:30 a 9:30	4 266,20 –5 482,40	5 159,72	5 159,72
9:30 a 10:30	5 482,40 –6 897,30	6 463,40	6 463,40
10:30 a 11:30	6 897,30 –8 951,70	8 353,48	8 353,48
11:30 a 12:30	8 951,70 –10 906,00	9 813,96	9 813,96
12:30 a 13:30	10 906,00 –14 557,90	13 306,00	13 306,00
13:30 a 14:30	14 557,90–15 894,30	14 836,98	14 836,98
14:30 a 15:30	15 894,30 – 5 200,40	4 824,32	4 824,32
15:30 a 16:30	5 200,40 –2 250,60	1 310,50	1 310,50
16:30 a 17:30	2 250,60–1 000,00	775,60	775,60
<b>Total de producción al día</b>			<b>72 313,11</b>

Fuente: elaboración propia

La producción de energía durante un día es entonces 72,313 Kwh/día.  
Durante un mes la energía será:

$$(72,313 \text{ KWh/día}) (30 \text{ días}) = 2 169,39 \text{ KWh/mes.}$$

Pero la energía de todo un año es: (2 169,39 KWh/mes) (12 meses). La producción anual de energía esperada es de 26 032,68 KWh/año.

Tabla XLVI. **Cantidad de energía fotovoltaica estimada en un día de un equipo de telecomunicación en poste de 1,0 KW**

<b>Hora</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
6:30 a 7:30	17,00 – 124,00	70,60	70,60
7:30 a 8:30	124,00 – 946,70	543,50	543,50
8:30 a 9:30	946,70 – 955,70	951,88	951,88
9:30 a 10:30	955,20 – 965,20	960,14	960,14
10:30 a 11:30	965,20 – 967,40	973,10	973,10
11:30 a 12:30	967,40 – 965,70	793,30	793,30
12:30 a 13:30	965,70– 975,70	968,40	968,40
13:30 a 14:30	975,70–1 022,20	988,34	968,34
14:30 a 15:30	1 022,20 –899,40	967,58	967,58
15:30 a 16:30	899,40– 297,20	594,50	594,50
16:30 a 17:30	297,2 – 2,50	113,84	113,84
<b>Total de producción al día</b>			<b>7 915,18</b>

Fuente: elaboración propia

La producción de energía durante un día es entonces 7 915 Kwh/día.  
Durante un mes la energía será:

$$(7\ 915\ \text{KWh/día}) (30\ \text{días}) = 237,45\ \text{KWh/mes.}$$

Pero la energía de todo un año es: (237,45 KWh/mes) (12 meses). La producción anual de energía esperada es 2 849,40 KWh/año.

Tabla XLVII. **Cantidad de energía suministrada por el moto-generador en sitio de 2,0 KW**

<b>Tiempo de suministro de energía</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia Promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
4 horas	7 446,20 –676,90	9 896,56	9 896,56
<b>Total de producción al día</b>			<b>9 896,56</b>

Fuente: elaboración propia

La producción de energía durante 4 horas en un día es entonces 9,897 Kwh/día. Durante 1 mes la energía será: (9,897 KWh/día) (16 días) = 158,35 KWh/mes, días que suministra energía el MG durante el mes. Pero la energía de todo un año es: (158,35 KWh/mes) (12 meses). La producción anual de energía esperada por el Mg es de 1 900,22 KWh/año.

Tabla XLVIII. **Cantidad de energía suministrada por el moto-generador en sitio de 3,5 KW**

<b>Tiempo de suministro de energía</b>	<b>Rango de potencia vatios</b>	<b>Potencia Promedio vatios</b>	<b>Energía en wh</b>
8 horas	13 384.60 –600,00	10 896,56	10 896,56
<b>Total de producción al día</b>			<b>10 896,56</b>

Fuente: elaboración propia

La producción de energía durante 8 horas en un día es entonces 10,897 Kwh/día. Durante un mes la energía será: (10,897 KWh/día) (22 días) = 239,73 KWh/mes, días que suministra energía el MG durante el mes. Pero la energía de todo un año es: (239,73 KWh/mes) (12 meses). La producción anual de energía esperada por el Mg es de 2 876,81 KWh/año.

#### 4.4.6. Costo KW hora y tarifa de la energía eléctrica

El consumo de energía en Guatemala se determina a razón de cuánta energía consume un usuario durante una hora, la unidad que es utilizada por las empresas distribuidoras es el KWh (kilovatio por hora), el kilovatio por hora se refiere al término de energía que es utilizada para calcular la cantidad de potencia que se ha utilizado durante un determinado periodo de tiempo en este caso es una hora.

Esto quiere decir, que el KWh es el parámetro que mide el consumo de electricidad en un lugar específico. El consumo de energía eléctrica para Guatemala lo determina la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica), que es el ente regulador de las tarifas de cobro por consumo de energía en KWh. A continuación se muestran los valores de cobro por KWh.

Figura 85. **Tarifa de cobro por KWH en Guatemala**

Tarifa	Feb – Abr 2019, Q/kWh	May - Jul 2019, Q/kWh	Variación Q/kWh	Variación %
DEOCSATS	1.8419	1.8649	0.0230	1.2%
DEORSA TS	1.7514	1.7667	0.0153	0.9%
EEGSATS	1.1593	1.2251	0.0657	5.7%

Fuente: CNEE. *Tarifa de cobro por KWH en Guatemala* . <http://www.cnee.gob.gt/wp/?p=3416>.

Consulta: 13 de abril de 2019.

La figura 85 muestra las tarifas de cobro por las tres empresas distribuidoras de energía eléctrica, por lo que dependiendo en que sitio se encuentre la torre de telecomunicación o poste de equipos de telecomunicación así será la tarifa que se debe utilizar para calcular el cobro.

#### **4.4.7. Cálculo de CO<sub>2</sub> evitadas**

El objetivo principal de todo tipo de energía renovable es disminuir la contaminación del ambiente evitando con esto la emanación de dióxido de carbono a la atmosfera, tener energía limpia con energías renovable, mediante el sistema híbrido que se pretende utilizar serán favorables con el medio ambiente evitando la contaminación del mismo y debido a esto, se hará un estudio del grado de contaminación que pueden ocasionar el sistema híbrido.

De esta manera se busca hacer conciencia en las personas de lo útil y necesaria que se ha vuelto la energía renovable, también de esta manera empresas estarán colaborando al planeta al implementar este sistema híbrido a sus equipos de telecomunicación.

El cálculo ambiental es una parte muy importante en la decisión de implementar un proyecto de energía verde, debido a que las emisiones de CO<sub>2</sub> son un problema que afecta a todo el mundo, y por lo cual se buscarán formas de generar energía eléctrica de forma limpia, sin contaminar el ambiente.

En Guatemala se sabe que la generación de energía eléctrica va de la mano con el consumo eléctrico y, por ende, el consumo eléctrico está estrechamente ligado con la emisión de CO<sub>2</sub>.

Por lo tanto, para hacer el estudio de la emisión de gases que se dejará de producir al introducir el sistema híbrido, se debe usar un factor de red equivalente a 0,49 que determina la cantidad de CO<sub>2</sub> liberada por el consumo de energía eléctrica en la red nacional de Guatemala.

Y para hacer el cálculo se toman los siguientes datos:

$$E_{fv(Kwh/dia)} = Kw * h/dia$$

$$F_r = 0,49$$

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 1,0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 7,915 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 3,87 \text{ Kg. CO}_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 2,0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 10,632 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 5,21 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 3,5 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 20,653 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 10,12 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 5,0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 35,912 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 17,60 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 8,0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 41,313 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 20,24 \text{ Kg. CO}_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 12,0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 57,713 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 28,28 \text{ Kg. CO}_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 16,0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 72,313 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 35,43 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para un poste con equipos de telecomunicación de 1.0 KW en un día de producción solar.

$$A_{CO_2} = E_{fv(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 7,915 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 3,88 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 2,0 KW en un día que la moto generadora suministra energía eléctrica.

$$A_{CO_2} = E_{mg(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 9,897 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 4,85 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Sustituyendo valores se tiene para una torre de telecomunicación de 3,5 KW en un día que moto-generador suministra energía eléctrica.

$$A_{CO_2} = E_{mg(Kwh/dia)} \times F_r$$

$$A_{CO_2} = 10,897 \times 0,49$$

$$A_{CO_2} = 5,34 \text{ Kg. } CO_2$$

Donde:

$A_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> que se deja de producir durante un día utilizando el sistema híbrido.

Tabla XLIX. **Tabla comparativa de CO2 evitadas por energía fotovoltaica según la demanda de la torre o poste de equipos de telecomunicación**

Capacidad de torre de telecomunicación o poste (KW)	Energía en Kwh/año	Factor de red equivalente $F_r$	CO2 sin producir (toneladas) anuales
1,0	2 849,40	0,49	1,40
2,0	3 827,52	0,49	1,88
3,5	7 435,08	0,49	3,64
5,0	12 928,68	0,49	6,33
8,0	14 872,68	0,49	7,29
12,0	20 776,68	0,49	10,18
16,0	26 032,68	0,49	12,76
1,0	2 849,40	0,49	1,40
<b>total</b>			<b>44,88</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Tabla comparativa de CO2 evitadas por el suministro de energía del MG según la demanda de la torre de telecomunicación**

Capacidad de torre de telecomunicación o poste (KW)	Energía en Kwh/año	Factor de red equivalente $F_r$	CO2 sin producir (toneladas) anuales
2,0	1 900,22	0,49	0,93
3,5	2 876,81	0,49	1,41
<b>total</b>			<b>2,34</b>

Fuente: elaboración propia

#### 4.4.8. Análisis de coste y beneficio del sistema híbrido a torres de telecomunicación

El cálculo del análisis de coste y beneficio del sistema híbrido será en base a la relación que existirá entre el ahorro monetario del sistema en su vida útil y el valor del sistema híbrido, por lo tanto:

$$F_p = \frac{A_{ms}}{V_s}$$

Sabiendo que para un sitio de 1,0 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 2\,849,40 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = \text{Q } 3\,305,30 * 12 \text{ años} = \text{Q } 39\,663,60$$

$$V_s = \text{Q } 175\,646,75 + \text{Q } 59\,675,00 = \text{Q } 235\,321,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{\text{Q } 39\,663,60}{\text{Q } 235\,321,75}$$

$$F_p = 0,17$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, el resultado de la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

Sabiendo que para un sitio de 2,0 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 3\,827,52 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = \text{Q } 4\,439,92 * 12 \text{ años} = \text{Q } 53\,279,04$$

$$V_s = \text{Q } 186\,146,75 + \text{Q } 59\,675,00 = \text{Q } 245\,821,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{\text{Q } 53\,279,04}{\text{Q } 245\,821,75}$$

$$F_p = 0,22$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

Sabiendo que para un sitio de 3,5 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 7\,435,08 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = \text{Q } 8\,624,69 * 12 \text{ años} = \text{Q } 103\,496,28$$

$$V_s = \text{Q } 190\,346,75 + \text{Q } 59\,675,00 = \text{Q } 250\,021,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{\text{Q } 103\,496,28}{\text{Q } 250\,021,75}$$

$$F_p = 0,41$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, el resultado de la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

Sabiendo que para un sitio de 5,0 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 12\,928,68 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = \text{Q } 14\,997,27 * 12 \text{ años} = \\ \text{Q } 179\,967,24$$

$$V_s = \text{Q } 194\,546,75 + \text{Q } 59\,675,00 = \text{Q } 254\,221,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{\text{Q } 179\,967,24}{\text{Q } 254\,221,75} \\ F_p = 0,71$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, el resultado de la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

Sabiendo que para un sitio de 8,0 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 14\,872,68 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = \text{Q } 17\,252,31 * 12 \text{ años} = \\ \text{Q } 207\,027,72$$

$$V_s = \text{Q } 207\,146,75 + \text{Q } 59\,675,00 = \text{Q } 266\,821,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{\text{Q } 207\,027,72}{\text{Q } 266\,821,75}$$

$$F_p = 0,76$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, el resultado de la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

Sabiendo que para un sitio de 12,0 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 20\,776,68 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = \text{Q } 24\,100,95 * 12 \text{ años} = \\ \text{Q } 289\,211,40$$

$$V_s = \text{Q } 219\,746,75 + \text{Q } 59\,675,00 = \text{Q } 279\,421,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{Q\ 289\ 211,40}{Q\ 279\ 421,75}$$

$$F_p = 1,03$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, el resultado de la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

Sabiendo que para un sitio de 16,0 KW:

$$A_{ms} = \left( \left( 26\ 032,68 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right) * \left( 1,16 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) \right) = Q\ 30\ 197,91 * 12 \text{ años} = \\ Q\ 362\ 374,92$$

$$V_s = Q\ 232\ 346,75 + Q\ 59\ 675,00 = Q\ 292\ 021,75$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$F_p = \frac{Q\ 362\ 374,92}{Q\ 292\ 021,75}$$

$$F_p = 1,24$$

Donde:

$F_p = \text{factibilidad del proyecto}$

Como se ve en el resultado anterior, la factibilidad del proyecto se encuentra dentro del rango, donde el proyecto sería rentable al momento de implementarlo.

#### **4.4.9. Determinación del tiempo de recuperación de la inversión**

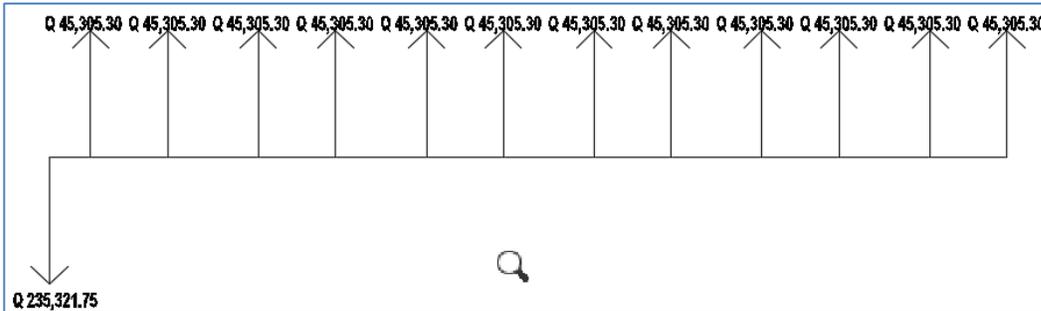
La tasa interna de retorno (TIR) determinará la rentabilidad de la inversión, si se tiene un valor alto de la TIR dirá que el proyecto es rentable y si por el contrario la TIR da un valor negativo o un valor cercano de cero, esto indicará que el proyecto no es rentable.

A continuación, se hacen los cálculos necesarios para determinar la rentabilidad del proyecto, tomando una base de 12 años sabiendo que el sistema híbrido tiene aproximadamente 12 años de vida útil.

- Flujo de caja

El flujo de caja indicará la inversión inicial y el retorno de inversión en años. Cabe mencionar que se tomará un periodo de 12 años, asumiendo que el sistema híbrido tiene como vida útil 12 años.

Figura 86. Flujo de caja del sistema híbrido de 1,0 KW en torre de telecomunicación



Fuente: elaboración propia

Donde:

$$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$$

$$A_{ma} = Q 3 305,30 + 42 000,00 = Q 45 305,30$$

$$V_s = Q 235 321,75 = \text{valor de la inversión o instalación}$$

- Cálculo de la TIR:

De la ecuación que denota la TIR.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -235\,321,75 + \frac{45\,305,30}{(1+i)} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^2} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^3} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^4} \\ & + \frac{45\,305,30}{(1+i)^5} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^6} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^7} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^8} \\ & + \frac{45\,305,30}{(1+i)^9} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^{10}} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^{11}} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0

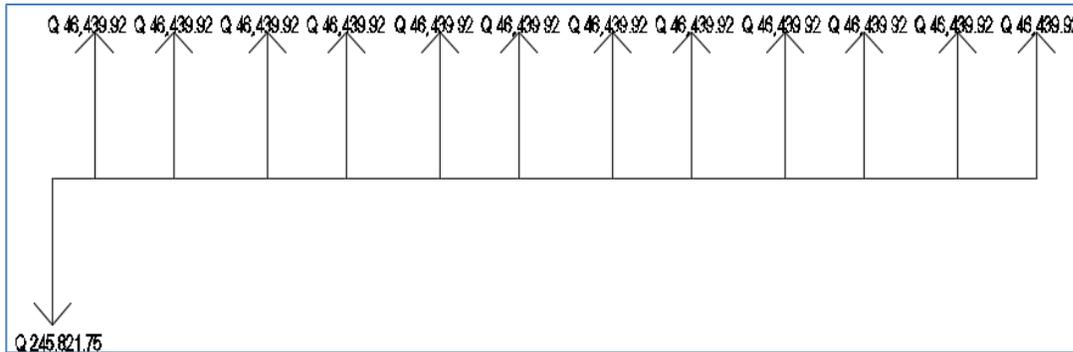
$$\begin{aligned} 0 = & -235\,321,75 + \frac{45\,305,30}{(1+i)} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^2} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^3} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^4} \\ & + \frac{45\,305,30}{(1+i)^5} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^6} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^7} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^8} \\ & + \frac{45\,305,30}{(1+i)^9} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^{10}} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^{11}} + \frac{45\,305,30}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Encontrando la TIR resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel se puede encontrar el siguiente valor de la TIR.

$$TIR = 0,16$$

Con este resultado queda demostrado que la rentabilidad del proyecto es viable y, por lo tanto, se puede llevar a cabo.

Figura 87. Flujo de caja del sistema híbrido de 2,0 KW en torre de telecomunicación



Fuente: elaboración propia

Donde:

$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$

$$A_{ma} = Q 4 439,92 + 42 000,00 = Q 46 439,92$$

$$V_s = Q 245 821,75 = \text{valor de la inversión o instalación}$$

- Cálculo de la TIR

De la ecuación que denota la TIR

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -245\,821,75 + \frac{46\,439,92}{(1+i)} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^2} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^3} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^4} \\ & + \frac{46\,439,92}{(1+i)^5} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^6} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^7} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^8} \\ & + \frac{46\,439,92}{(1+i)^9} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^{10}} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^{11}} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0

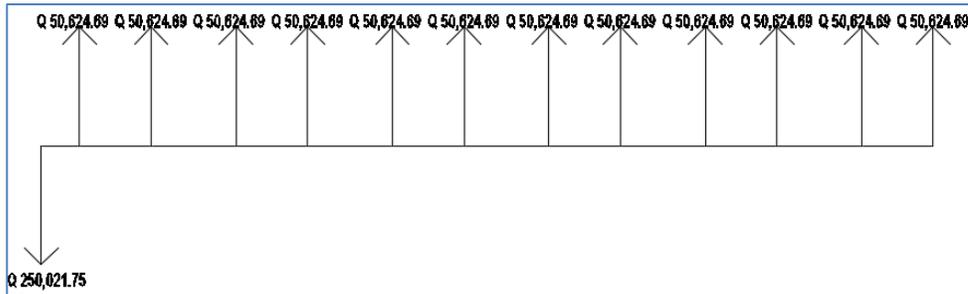
$$\begin{aligned} 0 = & -245\,821,75 + \frac{46\,439,92}{(1+i)} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^2} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^3} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^4} \\ & + \frac{46\,439,92}{(1+i)^5} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^6} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^7} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^8} \\ & + \frac{46\,439,92}{(1+i)^9} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^{10}} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^{11}} + \frac{46\,439,92}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Encontrando la TIR resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel se puede encontrar el siguiente valor de la TIR.

$$TIR = 0,16$$

Con este resultado queda demostrado que la rentabilidad del proyecto es viable y, por lo tanto, se puede llevar a cabo.

Figura 88. Flujo de caja del sistema híbrido de 3,5 KW en torre de telecomunicación



Fuente: elaboración propia

Donde:

$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$

$$A_{ma} = Q 8 624,69 + 42 000,00 = Q 50 624,69$$

$$V_s = Q 250 021,75 = \text{valor de la inversión o instalación}$$

- Cálculo de la TIR

De la ecuación que denota la TIR

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned}VAN = & -250\,021,75 + \frac{50\,624,69}{(1+i)} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^2} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^3} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^4} \\ & + \frac{50\,624,69}{(1+i)^5} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^6} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^7} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^8} \\ & + \frac{50\,624,69}{(1+i)^9} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^{10}} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^{11}} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^{12}}\end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0

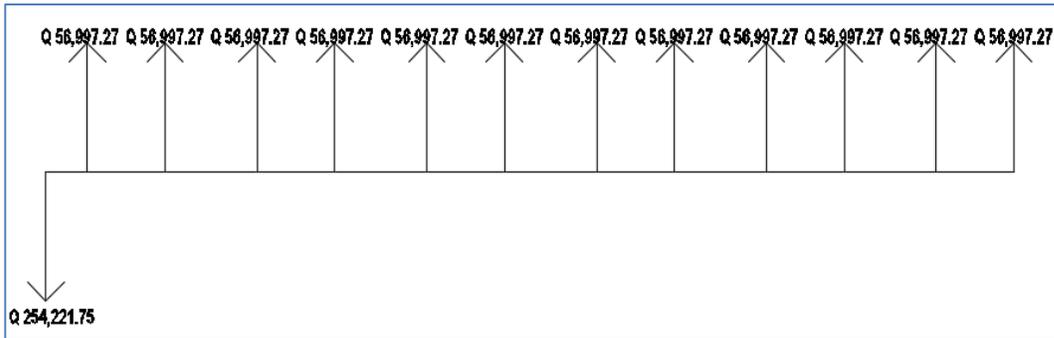
$$\begin{aligned}0 = & -250\,021,75 + \frac{50\,624,69}{(1+i)} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^2} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^3} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^4} \\ & + \frac{50\,624,69}{(1+i)^5} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^6} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^7} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^8} \\ & + \frac{50\,624,69}{(1+i)^9} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^{10}} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^{11}} + \frac{50\,624,69}{(1+i)^{12}}\end{aligned}$$

Encontrando la TIR resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel se puede encontrar el siguiente valor de la TIR.

$$TIR = 0,17$$

Con este resultado queda demostrado que la rentabilidad del proyecto es viable y, por lo tanto, se puede llevar a cabo.

Figura 89. Flujo de caja del sistema híbrido de 5,0 KW en torre de telecomunicación



Fuente elaboración propia.

Donde:

$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$

$$A_{ma} = Q 14 997,27 + 42 000,00 = Q 56 997,27$$

$V_s = Q 254 221,75 = \text{valor de la inversión o instalación}$

- Cálculo de la TIR:

De la ecuación que denota la TIR:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -254\,221,75 + \frac{56\,997,27}{(1+i)} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^2} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^3} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^4} \\ & + \frac{56\,997,27}{(1+i)^5} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^6} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^7} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^8} \\ & + \frac{56\,997,27}{(1+i)^9} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^{10}} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^{11}} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0.

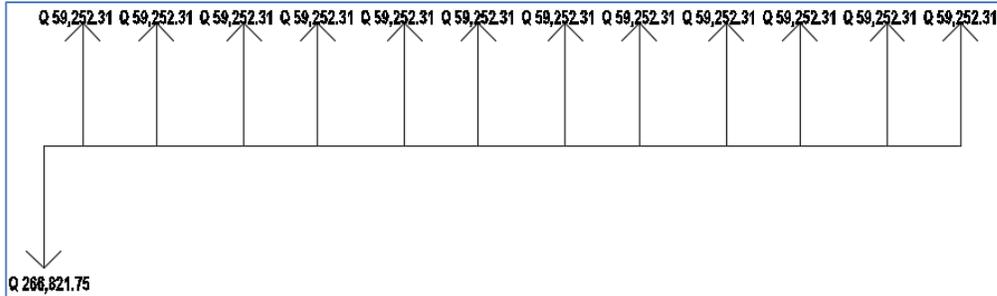
$$\begin{aligned} 0 = & -254\,221,75 + \frac{56\,997,27}{(1+i)} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^2} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^3} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^4} \\ & + \frac{56\,997,27}{(1+i)^5} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^6} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^7} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^8} \\ & + \frac{56\,997,27}{(1+i)^9} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^{10}} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^{11}} + \frac{56\,997,27}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Encontrando la TIR, resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel se encuentra el siguiente valor de la TIR.

$$TIR = 0,20$$

Con este resultado queda demostrado que la rentabilidad del proyecto es viable y, por lo tanto, se puede llevarse a cabo.

Figura 90. Flujo de caja del sistema híbrido de 8,0 KW en torre de telecomunicación



Fuente: elaboración propia.

Donde:

$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$

$$A_{ma} = Q 17 252,31 + 42 000,00 = Q 59 252,31$$

$V_s = Q 266 821,75 = \text{valor de la inversión o instalación}$

- Cálculo de la TIR

De la ecuación que denota la TIR

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -266\,821,75 + \frac{59\,252,31}{(1+i)} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^2} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^3} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^4} \\ & + \frac{59\,252,31}{(1+i)^5} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^6} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^7} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^8} \\ & + \frac{59\,252,31}{(1+i)^9} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^{10}} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^{11}} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0

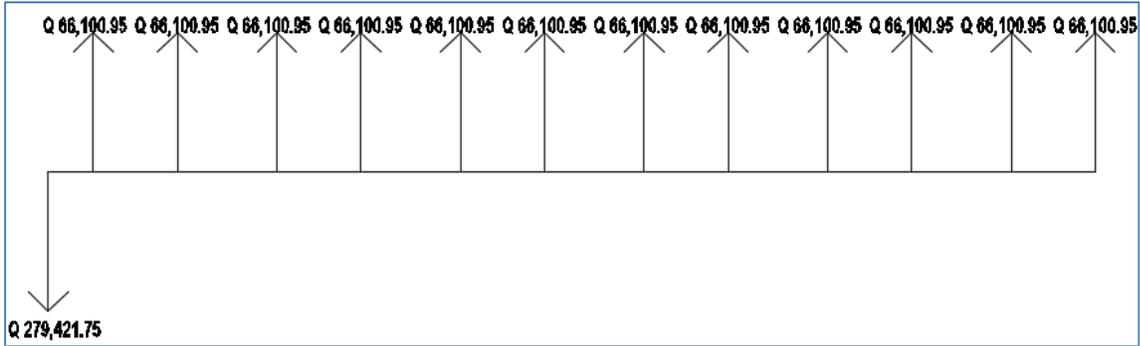
$$\begin{aligned} 0 = & -266\,821,75 + \frac{59\,252,31}{(1+i)} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^2} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^3} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^4} \\ & + \frac{59\,252,31}{(1+i)^5} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^6} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^7} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^8} \\ & + \frac{59\,252,31}{(1+i)^9} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^{10}} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^{11}} + \frac{59\,252,31}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Encontrando la TIR resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel podemos encontrar el siguiente valor de la TIR.

$$TIR = 0,20$$

Con este resultado queda demostrada que la rentabilidad del proyecto es viable y por lo tanto se puede debe llevarse a cabo.

Figura 91. **Flujo de caja del sistema híbrido de 12,0 KW en torre de telecomunicación**



Fuente: elaboración propia.

Donde:

$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$

$$A_{ma} = Q 24 100,95 + 42 000,00 = Q 66 100,95$$

$$V_s = Q 279 421,75 = \text{valor de la inversión o instalación}$$

- Cálculo de la TIR

De la ecuación que denota la TIR

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned}
 VAN = & -279\,421,75 + \frac{66\,100,95}{(1+i)} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^2} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^3} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^4} \\
 & + \frac{66\,100,95}{(1+i)^5} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^6} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^7} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^8} \\
 & + \frac{66\,100,95}{(1+i)^9} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{10}} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{11}} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{12}}
 \end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0

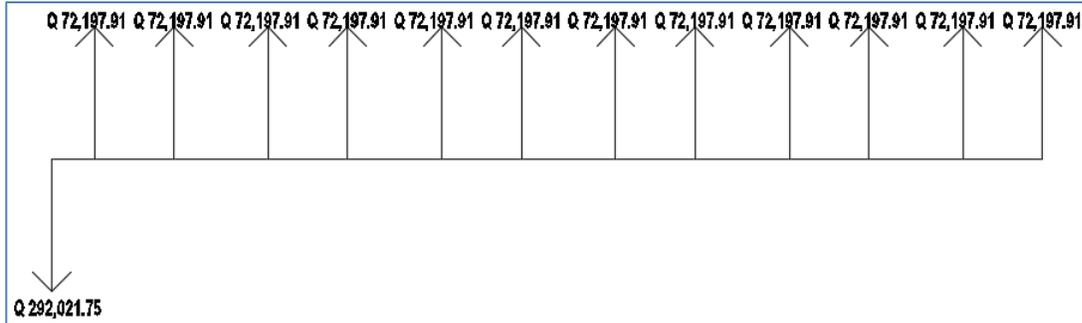
$$\begin{aligned}
 0 = & -279\,421,75 + \frac{66\,100,95}{(1+i)} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^2} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^3} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^4} \\
 & + \frac{66\,100,95}{(1+i)^5} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^6} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^7} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^8} \\
 & + \frac{66\,100,95}{(1+i)^9} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{10}} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{11}} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{12}}
 \end{aligned}$$

Encontrando la TIR, resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel permite encontrar el siguiente valor de la TIR.

$$TIR = 0,21$$

Con este resultado queda demostrada que la rentabilidad del proyecto es viable y, por lo tanto, se puede llevar a cabo.

Figura 92. **Flujo de caja del sistema híbrido de 16,0 KW en torre de telecomunicación**



Fuente: elaboración propia.

Donde:

$A_{ma} = \text{ahorro de energía} + \text{renta del sistema híbrido}$

$$A_{ma} = Q 30 197,91 + 42 000,00 = Q 72,197.91$$

$V_s = Q 292 021,75 = \text{valor de la inversion o instalacion}$

- Cálculo de la TIR

De la ecuación que denota la TIR

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -292\,021,75 + \frac{72\,197,91}{(1+i)} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^2} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^3} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^4} \\ & + \frac{72\,197,91}{(1+i)^5} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^6} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^7} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^8} \\ & + \frac{72\,197,91}{(1+i)^9} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^{10}} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{11}} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Haciendo que el VAN sea 0

$$\begin{aligned} 0 = & -292\,021,75 + \frac{72\,197,91}{(1+i)} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^2} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^3} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^4} \\ & + \frac{72\,197,91}{(1+i)^5} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^6} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^7} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^8} \\ & + \frac{72\,197,91}{(1+i)^9} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^{10}} + \frac{66\,100,95}{(1+i)^{11}} + \frac{72\,197,91}{(1+i)^{12}} \end{aligned}$$

Al encontrar la TIR resolviendo la ecuación anterior mediante la herramienta matemática de Excel se puede encontrar el siguiente valor:

$$TIR = 0,23$$

Con este resultado queda demostrado que la rentabilidad del proyecto es viable y, por lo tanto, se puede llevar a cabo.



## CONCLUSIONES

1. La implementación de un sistema híbrido para el respaldo de energía eléctrica a equipos de telecomunicación mediante energía renovable fue el principal objetivo del análisis. Este sistema depende de la radiación solar y del suministro de energía eléctrica de la moto generadora, por lo que es un sistema híbrido eficaz, que será de un gran ahorro económico en energía eléctrica. Para las empresas de telecomunicación, depende de una inversión inicial considerable, pero mediante el transcurso de los años se recupera la inversión inicial y se obtienen ganancias a largo plazo.
2. El sistema híbrido mediante un sistema fotovoltaico es un elemento de generación de energía de gran calidad, debido a que tiene la capacidad de producirla sin ningún tipo de impacto ambiental negativo. Además, su principal fuente de alimentación es el sol que representa un recurso energético ilimitado, limpio y, sobre todo, gratuito, que debe ser aprovechado al máximo en zonas de mayor producción solar.
3. La demanda de energía eléctrica en el mundo hace que las empresas distribuidoras tiendan a generar más energía para cubrir la demanda. Esto conlleva a quemar más combustible para generar más. Sin embargo, esto requiere de combustibles fósiles que contaminan con CO<sub>2</sub> el ambiente. Por ello, se ha visto la necesidad de implementar sistemas renovables que generen energía eléctrica de manera limpia o verde. La implementación de estos sistemas renovables conlleva a una gran inversión económica. Con el sistema híbrido se evitará de manera significativa la mitigación de CO<sub>2</sub>

de aproximadamente 47,2 toneladas anuales, por lo que si se implementa el sistema híbrido propuesto será mayor la mitigación de CO<sub>2</sub> anuales.

4. Los sistemas fotovoltaicos con la tecnología bifacial son amigables con el ambiente debido a que son en un 80 % hecho de vidrio templado altamente transparente. Pueden ser utilizadas como medio de generación para sistemas eléctricos que requieran mayor potencia eléctrica debido al alto aporte energético que tienen. Se busca hacer conciencia en los empresarios y personas, acerca de que la implementación de sistemas híbridos de generación de energías verdes es importante y es una manera limpia de generar energía para no contaminar el ambiente.
5. Con el estudio de la tasa interna de retorno (TIR), se pudo determinar que la implementación del sistema híbrido en torres de telecomunicación es una muy buena inversión, debido a la alta generación de energía eléctrica y, por consiguiente, hay un ahorro económico que se puede dar con este sistema híbrido que es muy rentable, ya que el resultado de la TIR dio valores aceptables, esto significa y da a conocer que el sistema amerita una inversión para implementarse en torres de telecomunicación.
6. En el ámbito ambiental este sistema se destaca, y por mucho, debido a la disminución de CO<sub>2</sub> que se evita al generar un KWh. Desde el punto de vista ambiental se puede decir que es un sistema híbrido apto para instalar en cualquier parte del mundo que busque cuidar el ambiente, ya que es un sistema rentable.

## RECOMENDACIONES

1. La información recopilada en este análisis de implementación de un sistema híbrido en torres de telecomunicación se basa en buscar los equipos adecuados y de alta tecnología en el cual se obtenga el mayor beneficio, por ello se recomienda el mantenimiento preventivo y correctivo de cada equipo por utilizar en un tiempo determinado para el funcionamiento óptimo de cada equipo y en su conjunto. Se recomienda llevar una bitácora acerca de qué fallas se detectó en cada equipo para así solucionarlo inmediatamente.
2. Contar con el personal altamente capacitado en el funcionamiento y mantenimiento de paneles fotovoltaicos, como de su estructura física y eléctrica.
3. Mantenimientos preventivos en el moto generador y bancos de baterías, ya que son equipos fundamentales en sitios donde no se cuenta con energía eléctrica, ya que en conjunto serán quienes soporten la carga que demande la torre de telecomunicación y evitar pérdidas económicas y falta de comunicación móvil e internet en dichos lugares.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA RUBIO, José. *Energía solar: utilización y aprovechamiento*. Madrid: Editorial Paraninfo, 2005. 12 p.
2. Centro de Estudios de la Energía Solar. *La energía solar: aplicaciones prácticas*. Sevilla: Promotora General de Estudios, 2009. 18 p.
3. CENSOLAR. *La energía solar*. [en línea]. <<http://censolar.com/menu2.htm>> [Consulta: 10 de octubre de 2018].
4. Comisión Nacional De Energía Eléctrica, *Tarifa De Consumo Eléctrico, Resolución CNEE 01 -2019*. Guatemala 15 de abril de 2019. 35 p.
5. Ministerio De Energía Y Minas. *Energía renovable en Guatemala, un mercado atractivo*. Guatemala: MEM, 2018. 70 p.
6. Q. CELLS. *Paneles solares*. [en línea]. <[www.q-cells.com](http://www.q-cells.com)> [Consulta: 3 de diciembre de 2018].
7. ROU, Hans. *Energía solar - Aplicaciones prácticas*. Valencia: Editorial Marcombo, 2004. 25 p.

