

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR BATERÍAS Y  
APOYADO POR GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

PRESENTADO POR:

**CESAR BILLY CORNEJO FLORES  
JOEL ALEXANDER CRUZ MEMBREÑO  
JOSÉ MANUEL DÍAZ HERNÁNDEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**DOCTOR EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR INTERINO:

**ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR BATERÍAS Y  
APOYADO POR GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

Presentado por:

**CESAR BILLY CORNEJO FLORES  
JOEL ALEXANDER CRUZ MEMBREÑO  
JOSÉ MANUEL DÍAZ HERNÁNDEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

SAN SALVADOR, FEBRERO DE 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 27 de enero de 2023, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 6:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle  
Director Interino

  
Firma



2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

  
Firma

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:



- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS  
(Docente Asesor)

Firma



- ING. ANA MARIA FIGUEROA DE MUNGUÍA

Firma

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR BATERÍAS Y APOYADO POR GENERACIÓN DISTRIBUIDA

A cargo de los Bachilleres:

- CORNEJO FLORES CÉSAR BILLY
- CRUZ MEMBREÑO JOEL ALEXANDER
- DÍAZ HERNÁNDEZ JOSÉ MANUEL

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.3  
(Ocho punto tres)

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Agradezco en gran manera a Dios porque hasta este momento me tiene con salud tanto física como mental, por haberme brindado sabiduría a lo largo de mi carrera, por acompañarme y darme consuelo en momentos difíciles y de enorme frustración. A mis padres, Reina del Carmen Flores de Cornejo y Aníbal de Jesús Cornejo Calles a quienes dedico este trabajo de tesis y a quienes expreso mi enorme agradecimiento por que siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional, los amo.

A mis compañeros de tesis quienes me ayudaron a fortalecer mis conocimientos, José Manuel Diaz quien nos demostró perseverancia e innovación y Joel Alexander Cruz Membreño con quien desde el año uno de mi carrera he compartido alegrías, frustraciones y momentos difíciles, pero siempre estuvimos apoyándonos hasta lograr esta meta.

A mis colegas de la Universidad quienes han sido parte muy importante de este logro y con quienes he compartido momentos únicos de mi vida. A las personas que estuvieron apoyándome en esta última etapa para la culminación de mi carrera, en especial a Mickeyli, quien me ha demostrado que amar implica mucho más que afecto emocional, sino también apoyo en momentos difíciles.

Billy Cornejo

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Primeramente, agradecer a Dios todo poderoso por darme salud, por darme sabiduría, por escucharme en los momentos de frustración y por permitirme llegar hasta este punto de mi carrera. Doy gracias y dedico este logro a mis padres María Miriam Membreño y José Ovidio Cruz, quienes siempre han estado apoyándome, orando a Dios pidiendo su protección y guía a lo largo de estos años de estudio.

Agradezco también a mi tía Marina Membreño, a quien considero mi segunda madre, gracias por todo el apoyo brindado, gracias por las risas de todos los días, gracias por la paciencia. Ella y mis primos han sido clave en alcanzar este logro en mi vida.

Agradezco a mis amigos, compañeros de estudio y colegas de trabajo que siempre me animaron a seguir adelante, en estos años de estudio. Gracias a Evita, una excelente persona y gran amiga que siempre me ha apoyado, especialmente en esta última etapa de mi carrera.

Por último, agradecer a mis compañeros de tesis José Manuel Díaz de quien he aprendido cosas muy importantes en el desarrollo de este trabajo y Cesar Billy Cornejo, un gran amigo y compañero de universidad, con quien hemos compartido frustraciones y alegrías desde el primer año de universidad. A nuestro docente y asesor de tesis, gracias por sus conocimientos compartidos en las clases impartidas y por sus aportes al desarrollo de este trabajo de grado

***“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”***

*- Albert Einstein*

Joel Cruz

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A Dios, mi madre y mis hermanos, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este cierre de mi carrera. ¡Los amos!

A mis compañeros, Joel y Billy por su esmero y dedicación por realizar este estudio, a Sam por su apoyo incondicional.

Manuel Díaz

# ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1 : GENERALIDADES .....	21
1.1. INTRODUCCIÓN .....	21
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	22
1.3. OBJETIVOS.....	23
1.4. DEFINICIONES Y PALABRAS CLAVE .....	24
1.5. ANTECEDENTES.....	25
1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	29
1.7. ALCANCES.....	29
1.8. LIMITACIONES .....	30
1.9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
Capítulo 2 : SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....	33
2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....	34
2.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CON HIDROGENO .....	41
2.3 APLICACIONES DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.....	55
Capítulo 3 : EQUIPAMIENTO EN APLICACIONES DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON BATERÍAS .....	65
3.1 INVERSORES HIBRIDOS .....	66
3.2 CONTROLADORES DE CARGA.....	68
3.3 TIPO DE BATERÍAS EN UN BESS .....	71

3.4 INTERRUPTORES DE TRANSFERENCIA EN APLICACIONES DE ALMACENAMIENTO.....	73
3.5 SISTEMAS DE CONTROL DE UN SAEB.....	75
3.6 ESQUEMAS DE INTERCONEXIÓN ENTRE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y UN SFV.....	77
3.7 SOLUCIONES COMERCIALES.....	82
Capítulo 4 : ANTECEDENTES Y PERFIL DE CARGA DIARIA DEL SITIO DE ESTUDIO .....	87
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO DE ESTUDIO .....	87
4.2 CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA CURVA DE DEMANDA DE LA COLONIA.....	90
4.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ARDVINSON.....	93
4.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	107
Capítulo 5 : PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	109
5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO.....	109
5.2 PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO FOTOVOLTAICO.....	110
5.3 ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL SITIO	114
5.4 CAPACIDAD DE GENERACIÓN FV EN EL SITIO SEGÚN YF .....	118
5.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	119

5.6. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	137
Capítulo 6 : ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA...	147
6.1 VALIDACIÓN DE LOS DATOS UTILIZADOS.....	148
6.2 CONSUMO DE ENERGÍA Y FACTURACIÓN MENSUAL DE LA COLONIA	
150	
6.3 REGULACIÓN Y LEGISLACIÓN ACTUAL .....	153
6.4 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS CON LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y	
LA COLONIA.....	157
6.5 ANÁLISIS DE AHORRO MENSUAL DE LOS SISTEMAS.....	162
6.6 PRESUPUESTO GENERAL DE LOS SISTEMAS .....	169
6.7 FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	173
7. CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES .....	181
8. CAPÍTULO 8: ANEXOS .....	185
9. CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA .....	202

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz energética de El Salvador 2013 .....	26
Figura 2. Capacidad total global de almacenamiento de energía operacional ....	27
Figura 3. Instalaciones anuales globales de almacenamiento de energía conectadas a la red por segmentos .....	28
Figura 4. Esquema de una Central hidráulica de bombeo .....	34
Figura 5. Central hidráulica de bombeo, “Rio Grande” ubicada en Argentina ..	35
Figura 6. Esquema de funcionamiento de un sistema de almacenamiento CAES	36
Figura 7 Sistema de almacenamiento CAES ubicado en Alabama, USA .....	36
Figura 8. Esquema de funcionamiento de un sistema LAES .....	37
Figura 9. Sistema de almacenamiento de energía LAES ubicado en Reino Unido	38
Figura 10. Esquema de un sistema de almacenamiento cinético .....	38
Figura 11. Planta de almacenamiento de energía de Stephentown de Beacon Power	39
Figura 12. Esquema de funcionamiento de una planta termo solar .....	40
Figura 13. Planta termo solar “Atacama 1”, Chile.....	41
Figura 14. Proceso de obtención de Hidrogeno mediante electrolisis .....	42
Figura 15. Esquema representativo del aprovechamiento del hidrogeno. ....	42
Figura 16. Bobina superconductora .....	44
Figura 17. Almacenamiento de energía del supercondensador .....	44

Figura 18. Sistema de almacenamiento de energía mediante supercondensadores, La Palma, España.....	45
Figura 19. Reacción química del electrolito sobre los elementos de plomo y dióxido de plomo .....	48
Figura 20. Tipos de baterías plomo ácido.....	49
Figura 21. Funcionamiento de una batería de sulfuro de sodio .....	50
Figura 22. Sistema de almacenamiento de energía con baterías sulfuro de sodio, Japón	51
Figura 23. Funcionamiento de una batería redox de vanadio .....	52
Figura 24. Proceso de descarga de una batería ion-litio .....	53
Figura 25. Sistema de almacenamiento con baterías ion-litio de Tesla, California USA	54
Figura 26. Esquema de funcionamiento del arbitraje de energía con almacenamiento con baterías. [26]. .....	56
Figura 27. Esquema de funcionamiento del “Peak Saving” con almacenamiento con baterías .....	58
Figura 28. Aplicación de smoothing mediante un sistema BESS.....	59
Figura 29. Esquema de funcionamiento de una micro red.....	60
Figura 30. Sistema BESS para regulación de frecuencia.....	62
Figura 31. Respuesta rápida y precisa contra perturbaciones mediante un BESS63	

Figura 32. BESS para proporcionar servicios de restablecimiento del sistema (Black start)

64

Figura 33. Aplicación de reserve rodante mediante un BESS ..... 65

Figura 34. Diagrama de un inversor híbrido conectado a la red ..... 66

Figura 35. Comparativa de diferentes inversores y su eficiencia ..... 67

Figura 36. Cantidad de MPPT por cada entrada de inversor ..... 67

Figura 37. Controlador de carga PWM..... 69

Figura 38. Controlador de carga MPPT ..... 69

Figura 39. Etapa de carga de un controlador solar..... 70

Figura 40. Controlador de carga serie y paralelo ..... 71

Figura 41. Capacidad de almacenamiento por baterías instalada en el mundo 2012-2022

72

Figura 42. Interruptor de transferencia ..... 73

Figura 43. Interruptor de transferencia automática solar ..... 74

Figura 44. Transición abierta ..... 74

Figura 45. Transición cerrada ..... 75

Figura 46. Características fundamentales de un BMS ..... 76

Figura 47. Estructura típica de BESS ..... 77

Figura 48. Esquema de "stand - alone" off grid..... 78

Figura 49. Esquema de "stand – alone con función de carga a la red" off grid.. 79

Figura 50. Esquema hibrido.....	80
Figura 51. Esquema hibrido con limitación de inyección.....	81
Figura 52. Esquema conectado a la red con limitación de inyección .....	82
Figura 53. Plano de distribución de las viviendas en la residencial.....	89
Figura 54. Curva de demanda típica para cargas industriales. Fuente.....	91
Figura 55. Curva de demanda típica para cargas residenciales. Fuente.....	92
Figura 56. Curva de demanda típica para cargas de alumbrado público .....	93
Figura 57. Vista 3D de la ubicación del sitio.....	109
Figura 58. Temperatura máxima y mínima promedio diaria a lo largo del año en El Salvador. ....	110
Figura 59. Módulo fotovoltaico modelo JKM555-575N-72HL4-(V) de la marca Jinko Solar .....	112
Figura 60. Inversor el modelo (75-100) K-5G-US de la marca Solís. ....	112
Figura 61. Creación del proyecto y elección de la base de datos meteorológicos.	115
Figura 62. Definición de la orientación de los módulos fotovoltaicos .....	115
Figura 63. Elección del módulo fotovoltaico e inversor solar. ....	116
Figura 64. Resumen del dimensionamiento global del sistema en PVSyst. ....	117
Figura 65. Resultados de la simulación para la generación horaria por mes Sistema global.	118
Figura 66. KW-H/KWP para diferentes inclinaciones y orientaciones (monocristalino) sur, San Salvador .....	119

Figura 67. Especificaciones del panel solar modelo Tiger Neo N-type 72HL4-(V) Jinko Solar .....	120
Figura 68. Especificaciones técnicas del Inversor. Para el diseño se utiliza el modelo de 100kW.....	120
Figura 69. Esquema de la distancia mínima de separación de los MFV .....	131
Figura 70. Diagrama unifilar para el sistema fotovoltaico sobre suelo .....	135
Figura 71. Distribución de los string hacia los inversores.....	136
Figura 72. Distribución total de los módulos fotovoltaicos.....	137
Figura 73. Cálculo del área bajo la curva del pico de demanda utilizando Matlab.	141
Figura 74. Cálculo del área bajo la curva del pico de demanda utilizando GeoGebra.	141
Figura 75. Contenedor del sistema de almacenamiento ATEN 250kW/1,104kWh	144
Figura 76. Características técnicas del sistema de almacenamiento ATEN 250kW/1,104kWh.....	145
Figura 77. Esquema de interconexión del SFV y el BESS con la colonia.....	147
Figura 78. Calculo estimado del consumo de energía diaria de la colonia. ....	149
Figura 79. los precios de energía eléctrica a trasladarse a las tarifas de las distintas empresas distribuidoras, con vigentes del 15 de octubre de 2022 al 14 de enero de 2023.....	152
Figura 80. Esquema de funcionamiento del sistema BESS .....	158
Figura 81. Esquema del flujo y medición de la energía en el periodo Resto....	160
Figura 82. Esquema del flujo y medición de la energía en el periodo Valle ....	161

Figura 83. Esquema del flujo y medición de la energía en el periodo Punta.... 161

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las baterías plomo ácido .....	49
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las baterías sulfuro de sodio.....	51
Tabla 3. Ventajas y desventajas de las baterías Redox de vanadio. ....	52
Tabla 4. Ventajas y desventajas de las baterías ion litio.....	55
Tabla 5. Comparación de los diferentes tipos de baterías.....	72
Tabla 7. Demanda de potencia máxima elaborada con la ayuda de la herramienta de cálculo de potencia [45] .....	88
Tabla 8. Factores de variación horaria para varios tipos de electrodomésticos..	95
Tabla 9. Identificación de las curvas de demanda máxima diversificada, según la letra correspondiente. ....	97
Tabla 10. Factores de demanda máxima diversificada para 100 usuarios (vivienda tipo A y tipo B) .....	100
Tabla 11. Demanda diversificada total horaria de la colonia (500 viviendas. 200 viviendas tipo A y 300 viviendas tipo B).....	101
Tabla 12. Demanda diversificada total horaria por transformador. Metodología 3.	105

Tabla 13. Resumen de resultados de las metodologías aplicadas para el método de Arvidson.....	107
Tabla 14. Demanda diaria global de la colonia. Metodología 2. ....	113
Tabla 15. Cálculo de parámetros de los MFV e inversores .....	128
Tabla 16. Dimensionamiento del inversor .....	129
Tabla 17. Dimensionamiento del sistema .....	129
Tabla 18. Características del sistema de almacenamiento .....	146
Tabla 19. Energía Punta diaria consumida en la colonia .....	150
Tabla 20. Energía Valle diaria consumida en la colonia .....	151
Tabla 21. Energía Resto diaria consumida en la colonia .....	151
Tabla 22. Energía total diaria y mensual consumida en la colonia.....	152
Tabla 23. Costo de la energía diaria y mensual consumida en la colonia .....	153
Tabla 24. Generación promedio por hora para cada mes, simulada por PVSyst	162
Tabla 25. Ingresos mensuales en la colonia Whittingham con la implementación del SFV	164
Tabla 26. Ingresos mensuales en la colonia Whittingham con la implementación del SFV + BESS.....	167
Tabla 27. Ingresos mensuales en la colonia Whittingham con la implementación del SFV + BESS.....	168
Tabla 28. Presupuesto general para el sistema fotovoltaico sobre suelo .....	169
Tabla 29. Presupuesto general para el sistema fotovoltaico + BESS .....	172

Tabla 30. Análisis económico sistema fotovoltaico. ....	174
Tabla 31. Estado de resultados proyectados para el SFV. ....	175
Tabla 32. Flujo de efectivo proyectado para el SFV. ....	175
Tabla 33. Balance general proyectado para el SFV.....	176
Tabla 34. Indicadores financieros para el SFV.....	176
Tabla 35 Análisis económico sistema fotovoltaico con almacenamiento. ....	177
Tabla 36. Estado de resultados proyectados para el SFV con BESS.....	178
Tabla 37. Flujo de efectivo proyectado para el SFV con BESS. ....	179
Tabla 38. Balance general para el SFV con BESS. Representa las fuentes de financiación en un momento concreto, procedentes, tanto de terceros como inversionistas, como de los propietarios de la misma, y la inversión que se ha dado a esa financiación. ....	180
Tabla 39. Indicadores financieros para el SFV con BESS.....	180

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Demanda máxima diversificada 30 minutos KW/casa, para varios tipos de carga residencial. Fuente: [47].....	96
Gráfico 2: Curva de demanda diversificada global (500 viviendas). Metodología número 1.	102
Gráfico 3. Demanda diversificada promedio por vivienda (modelo tipo A, a las 06:00pm)	103
Gráfico 4. Demanda diversificada promedio por vivienda (modelo tipo A, a las 06:00pm)	104
Gráfico 5: Curva de demanda diversificada global (500 viviendas). Metodología número 1.	106
Gráfico 6. Curva de demanda total diaria de la colonia.....	138
Gráfico 7. Energía necesaria para recortar el pico de demanda diaria.....	139
Gráfico 8. Ecuación que describe el pico de demanda diaria. ....	140
Gráfico 9. Energía promedio de la simulación de PVSyst vs Energía demandada por la colonia.....	163

# **Capítulo 1 : GENERALIDADES**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de grado se ha desarrollado con el fin de estudiar la factibilidad técnica y económica que poseen los sistemas de almacenamiento de energía a base de baterías, apoyados con generación fotovoltaica. Es bien sabido que el almacenamiento de energía en los sistemas fotovoltaicos es completamente necesario, ya que produce muchos beneficios tanto a la planta fotovoltaica, como a la red de distribución, he aquí la necesidad de realizar un estudio de factibilidad que sirva de referencia para determinar la viabilidad económico-técnica si se piensa realizar un proyecto de este tipo.

Para desarrollar el estudio, se ha tomado como caso de estudio un complejo residencial de 500 viviendas, a partir de esto se propone el diseño de un sistema fotovoltaico centralizado y que sea respaldado por un sistema de almacenamiento que cumpla con los requerimientos y necesidades de la demanda diaria del conjunto residencial. En el presente, se desarrolla una aplicación específica de los sistemas de almacenamiento, la cual se define a partir del estudio de perfil de carga del sitio de estudio

El propósito final de este estudio es determinar la viabilidad técnica y económica de los sistemas de almacenamiento acoplados a sistemas fotovoltaicos, sin embargo, en el estudio se trata de dar a conocer aspectos teóricos sobre los sistemas de almacenamiento, realizar la obtención y análisis de la curva de demanda diaria de la colonia, dimensionar los sistemas fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de energía de acuerdo a las necesidades de la demanda, determinar

los valores de energía consumida por el conjunto residencial y así mismo realizar proyecciones de ahorro mensual de la factura para cada uno de los sistemas que se diseñan. Todos estos apartados contribuyen de alguna forma u otra para el desarrollo y alcance de los objetivos del presente trabajo de graduación.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Con la disminución de los precios de los sistemas tanto fotovoltaicos como sistemas de almacenamiento y el auge que han tenido estos sistemas en el sector energético, es más común que los consumidores opten por utilizar uno de estos sistemas para generar ahorros en la factura mensual de energía.

Aunque los sistemas de almacenamiento continúan siendo muy costosos hasta la fecha, es necesario estudiar esta alternativa ya que un sistema de almacenamiento no solo sirve para almacenar energía que puede ser utilizada cuando la energía de la red es más costosa, sino que tiene, entre otras ventajas, las siguientes: mejorar la calidad del suministro, desplazar los picos de demanda, brindar soporte a la red eléctrica mediante un sistema de reserva rodante y también puede funcionar como un sistema de regulación de voltaje y frecuencia para la red de distribución .

Un sistema de almacenamiento de energía tiene muchas aplicaciones tanto a pequeña y gran escala, así como también en los distintos sectores energéticos de la sociedad como lo son industrias, centros comerciales y residencias. La implementación tecnológica de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, contribuye a mantener la confiabilidad del sistema eléctrico ante perturbaciones, alta demanda en horarios picos y la reducción del costo monetario de la energía.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio de factibilidad tanto técnica como económica de un sistema de almacenamiento de energía con baterías y apoyado con energía solar, para su implementación en un parque residencial típico.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar las distintas aplicaciones y configuraciones de los sistemas de almacenamiento de energía, a fin de elegir las aplicaciones que mejor se acoplen al caso de estudio en cuestión.
- Aplicar un método analítico para la generación del perfil de demanda diaria del objeto de estudio sometido a análisis.
- Realizar el estudio del perfil de carga diaria del parque residencial, para determinar las dimensiones de los sistemas fotovoltaico y de almacenamiento que se requiera diseñar.
- Dimensionar los sistemas de almacenamiento de energía y sistema fotovoltaico, tomando en cuenta el estudio del perfil de carga y el estudio de potencial de generación renovable del sitio.
- Analizar la viabilidad financiera para implementar un sistema de almacenamiento en para el caso de estudio, considerando los factores que afectan la implementación y escenarios de operación de los sistemas.

#### 1.4. DEFINICIONES Y PALABRAS CLAVE

AC: Corriente Alterna

ATS: Interruptor de Tránsito Automático

BC: Contenedor de Baterías

BESS: Sistema de Almacenamiento en Energía por Baterías

BMS: Sistema de Gestión de las Baterías

DC: Corriente directa

FV: Energía Fotovoltaica

GWh: Giga Watt – Hora

HVAC: Sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado

kW: kilo Watt

kWh: kilo Watt - hora

LFP: Batería de Litio-Ferro fosfato

MFV: Modulo Fotovoltaico

MPPT: Seguidor del Punto de Máxima Potencia

MW: Mega Watt

MWh: Mega Watt – hora

NCM: Batería ion-litio con aleación Níquel-Cobalto-Manganeso

NEC: Código Eléctrico Nacional

PCS: Sistema de Conversión de Potencia

SAEB: Sistema de Almacenamiento de Energía por Batería

SFV: Sistema Fotovoltaico

SOC: Estado de Carga de la batería

SOH: Estado de Salud de la batería

TIR: Tasa Interna de Retorno

VAN: Valor Actual Neto

**Palabras Clave:** Acoplamiento AC, Acoplamiento DC, Comercializador, Distribuidor, Demanda, Energías renovables, Factibilidad económica, Generador, Irradiancia, Meteonorm, Método Arvidson, Peak shaving, Perfil de carga, Pico de demanda, Potencia firme, PVSyst, Retorno de inversión, String, Tasa de interés.

## 1.5. ANTECEDENTES

El reto de las energías renovables gestionables es mantener la seguridad eléctrica y el almacenamiento de energía en redes eléctricas robustas. Los SAE son capaces de proveer múltiples servicios a los sistemas eléctricos, más allá del arbitraje entre horas de menor y mayor precio, regulación primaria, secundaria y terciaria de frecuencia, la regulación de tensión, proveer de potencia firme, entre otras, también son capaces de mejorar la eficiencia en los costos y posponer inversiones en la industria y distribución de energía al reducir los picos de demanda máxima de las redes.

Las reformas en las políticas energéticas realizadas por el CNE en El Salvador durante las últimas décadas han permitido pasar de una matriz altamente dependiente de los combustibles fósiles, a una matriz energética con un buen porcentaje de generación a base de energías renovables. En el 2013, la matriz energética de El Salvador se componía en casi un 50% de generación a base de combustibles fósiles, en cuanto a la generación a base de fuentes renovables solar y eólica, se proyectaba para 2018 una participación en la matriz energética del 2% y 1% respectivamente.[1]

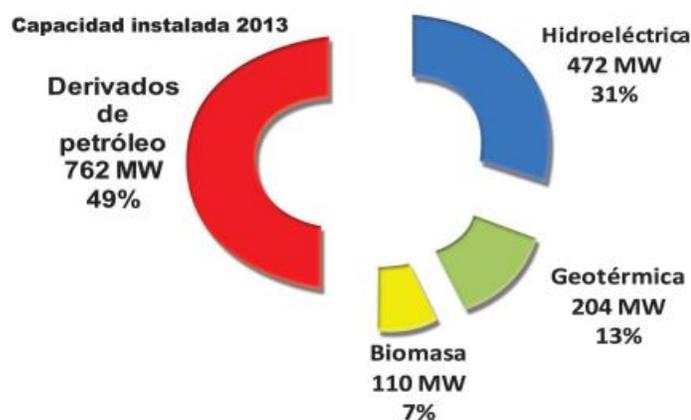


Figura 1. Matriz energética de El Salvador 2013[1]

En el 2022 la matriz energética de El Salvador contaba con un 9.55% de generación SFV y un 3.05% de energía eólica [1]. La penetración de las energías a base de fuentes renovables va en aumento no solo en El Salvador sino en el mundo entero y es algo que debe estudiarse con especial cuidado, buscando alternativas para su correcta integración evitando así posibles afectaciones a los sistemas eléctricos.

Los sistemas de almacenamiento de energía son una solución muy atractiva para consolidar a los los SFV y eolicos como autenticos generadores en los sistemas electricos.Esta alternativa se ha vuelto cada vez más viable en especial para los generadores de energía a gran escala, un ejemplo

de la implementación de este tipo de sistemas en El Salvador la planta fotovoltaica Alberio 1 y 2, en el momento de su implementación, tenía una potencia solar pico de 140MW y una capacidad de almacenamiento de 3MW/1.5MWh a base de baterías de litio [2].

Así, El Salvador da sus primeros pasos en la implementación de sistemas de almacenamiento a gran escala, a nivel mundial, los sistemas de almacenamiento son muy empleados por la industria energética, en 2019 la capacidad total de almacenamiento en todo el mundo era de 183.1GW de los cuales el 93.7% corresponde a los sistemas de bombeo hidráulico y solo el 4.5% corresponde a los sistemas de almacenamiento electroquímico[3].

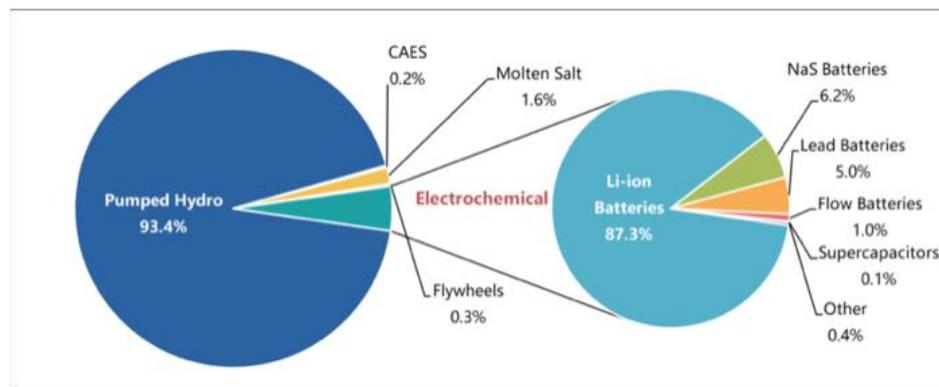


Figura 2. Capacidad total global de almacenamiento de energía operacional[3].

De la figura 3 podemos inferir que cerca 7GW corresponden a almacenamiento a base de baterías de ion-litio. Según la revista PV Magazine, las proyecciones para almacenamiento eléctrico a base de baterías de iones de litio apuntan que para 2030 se tendrá una capacidad de almacenamiento instalada de 27GW en todas las áreas, siendo la de mayor crecimiento, la denominada, “frontofthe meter”, también denominado almacenamiento a gran escala [4].

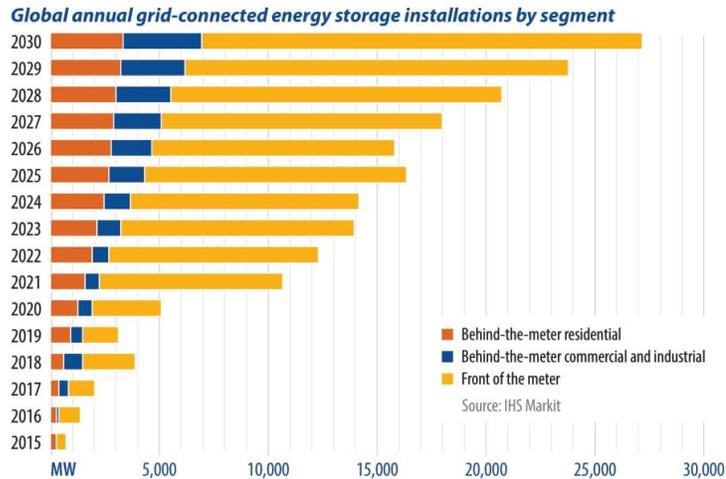


Figura 3. Instalaciones anuales globales de almacenamiento de energía conectadas a la red por segmentos[4].

A nivel global la penetración de los SAE aún se encuentra en una etapa incipiente. Su aprovechamiento pleno depende en gran parte de que los marcos regulatorios habiliten su participación en los mercados para proveer estos servicios eléctricos, se reconozca su valor económico y sean remunerados adecuadamente. Los déficits y excedentes de la generación renovable pueden administrarse en el futuro en gran medida si se les incorpora por medio de sistemas de almacenamiento de energía.

El almacenamiento de energía en El Salvador es prácticamente un ámbito nuevo, debido a la poca capacidad instalada en el país, ya que no existe una regulación para estos sistemas. por eso es necesario realizar el análisis de las regulaciones actuales y las características del sistema eléctrico salvadoreño que puedan afectar en la operación técnica como en la evaluación económica de la implementación de sistemas de almacenamiento en el sistema eléctrico salvadoreño, su necesidad surge ante la tendencia significativa del incremento de los parques solares y eólicos en el país.

## **1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El aumento de la demanda energética global conlleva una serie de dificultades técnicas y sociales en las cuales están involucrados de primera mano los sistemas de generación eléctrica. Hoy en día el uso de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica limpia se ha convertido en una excelente alternativa para el proceso de descarbonización del planeta, Sin embargo, estas fuentes de energías, son en su mayoría intermitentes. Para el caso en específico de la energía solar, cuyos factores de planta en la generación son aproximadamente un 20%. Estos valores son inherentes a esta forma de generación de energía, dado que únicamente se produce durante el día y adicionalmente no todos los días son soleados. Por otro lado, y de acuerdo con el perfil de carga del usuario, mucha energía generada no es aprovechada y se vierte a la red.

Actualmente la generación de energía distribuida tiene gran importancia en los sistemas eléctricos, sin embargo, estos sistemas, al basarse en fuentes de naturaleza intermitentes, producen inestabilidad en la red eléctrica, por eso mismo estos generadores no pueden proveer a la red de servicios como lo es la regulación de voltaje de la red, potencia firme o reserva rodante, lo que nos hace dependientes de los generadores a base de energía fósil para poder brindar este tipo de soporte a la red eléctrica, es por ese motivo que se debe estudiar el almacenamiento de energía a base de baterías, como una buena alternativa para que las renovables puedan también contribuir al soporte de la red.

## **1.7. ALCANCES**

- a) Análisis de las aplicaciones de sistemas de almacenamiento de energía que presenten la mayor factibilidad para la implementación en un campo residencial tomado como objeto de estudio.
- b) Obtener la curva de demanda diaria del área residencial, aplicando el método analítico de Ardivinson.
- c) Estudio de consumo energético del lugar, en base a la curva de demanda generada con el método Ardivinson.
- d) Estudio de la facturación de energía del lugar, en base al pliego tarifario vigente en el país.
- e) Dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento y sistema fotovoltaico de forma teórica y mediante softwares de simulación.
- f) Análisis de la energía e ingresos mensuales generados debido a la implementación del sistema fotovoltaico y el sistema de almacenamiento.
- g) Evaluación económica y financiera del proyecto.

## **1.8. LIMITACIONES**

El propósito del presente trabajo de grado, es desarrollar un caso de estudio y aplicación del sistema de almacenamiento para la demanda de un área residencial o una colonia privada cuyo servicio lo proporcione un comercializador. Para realizar el estudio del perfil de carga de dicha área residencial se debe obtener los datos de consumo diario del conjunto de viviendas, en el país existen comercializadores que presentan este mismo esquema de funcionamiento, cuyas cargas son exclusivamente residenciales, sin embargo, estas empresas son a veces muy cuidadosos al compartir información por lo que resulta muy difícil obtener datos por este medio.

Aunque es posible obtener el perfil de carga de una vivienda empleando un analizador de redes, se presentan dificultades en la obtención para diversos grupos de viviendas con determinadas características de carga tanto individuales como grupales, en ese sentido, y para conseguir un perfil de carga grupal más general se decide emplear el método de Ardivinson para determinar los perfiles de carga grupales e individuales de las viviendas.

El estudio de los sistemas de almacenamiento involucra muchas áreas de estudio, de las cuales muchas de ellas se han desarrollado teóricamente en el presente trabajo de graduación, sin embargo, solo se realiza el estudio técnico y el diseño teórico de los sistemas, basándose en el área residencial a mediana escala.

## **1.9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo del trabajo de grado se realiza de manera sistemática siguiendo secuencialmente los literales que a continuación se presentan:

### **A) INVESTIGACIÓN DE ASPECTOS TEÓRICOS:**

Se realiza una investigación sobre aspectos teóricos relevante a los sistemas de almacenamiento de energía, indagando sobre las distintas aplicaciones de estos sistemas, así como también las configuraciones que se pueden emplear en conjunto con los SFV. Luego se elige la aplicación que mejor se acopla a las necesidades del caso de estudio, tomando en cuenta también el estudio del pliego tarifario actual y la demanda de energía diaria y mensual del conjunto residencial.

## B) RECOLECCIÓN DE LOS DATOS:

A manera de ser más objetivos en nuestro análisis se toma como caso de estudio una residencial de 500 viviendas, de las cuales se construyen al menos dos modelos de vivienda: vivienda tipo A y vivienda tipo B, para ser analizados en el método analítico que dará como resultado el perfil de carga del conjunto residencial.

La recolección de los datos de consumo de usuarios residenciales se realiza mediante el método de Ardvinson, con el cual se obtiene la demanda máxima del conjunto, este método nos permite apegarnos a la realidad de consumo que genera tanto individual como grupal las viviendas en distintas horas del día, así se obtendrá la máxima potencia y energía que se demanda y en que lapsos de tiempo ocurre.

## C) ANÁLISIS DE LOS DATOS

Después de obtener la curva de demanda del sitio, se identifican los lapsos de tiempo con mayor demanda de energía, es decir los picos de demanda, para luego plantear posibles aplicaciones del sistema de almacenamiento según el perfil de carga que se estudia.

## D) ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN

Se plantean las posibles aplicaciones de los sistemas de almacenamiento de energía que se pueden aplicar al perfil de carga obtenido, analizando para ello aspectos como: los picos de demanda existentes, horarios en los que se dan estos picos de demanda. Una vez definido la aplicación de BESS que se pretende desarrollar, se realiza el estudio del

potencial de generación fotovoltaica presente en el sitio de estudio, para posteriormente dimensionar el sistema fotovoltaico y el sistema BESS.

#### E) IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La implementación de una solución íntegra y efectiva debe basarse en los estudios previamente presentados para presentar una alternativa de diseño de los sistemas SFV y de almacenamiento. Se realiza el análisis de ahorro mensual, para conocer los beneficios tras la implementación del proyecto y posteriormente realizar el estudio de factibilidad económica – técnica que justifique la inversión.

## **Capítulo 2 : SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

En términos simples el almacenamiento de energía consiste en guardar la energía que se genera para posteriormente liberarla cuando haya una demanda en el mercadoo sea requerida para una aplicación específica, se debe tener en cuenta que el almacenamiento de energía son un impacto grande e importante para ayudar al autoconsumo, se sabe que en las horas nocturnas la demanda es menor ya que la mayoría de industrias no opera a altas horas de la noche, no obstante, la energía solar tampoco está presente a horas nocturnas sin embargo se puede almacenar energía solar de diferentes formas una de ellas es convirtiéndola en energía mecánica, con los excedentes de energía producidos por plantas solares cuando la demanda es baja se podría almacenarse en un sistema mecánico y en momentos de alta demanda en el mercado se procede a liberar esa energía almacenada haciendo girar una turbina produciendo energía eléctrica.

## 2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

En términos generales se pueden clasificar los sistemas de almacenamiento de la siguiente manera:

### MECÁNICOS

Existen 4 principales sistemas de almacenamiento mecánico de energía que se emplean actualmente en el mundo, siendo los más usados los sistemas de rebombeo hidráulico seguido de los volantes de inercia, aire comprimido (CAES) y aire líquido (LAES)

### CENTRALES HIDRÁULICAS DE BOMBEO

Los sistemas de rebombeo hidráulico se configuran en centrales hidroeléctricas y consiste en almacenar o bombear agua a un depósito de una altura mayor cuando hay mucho recurso hídrico o cuando la demanda de la energía sea baja, para luego descargar esa agua a las turbinas de generación eléctrica, cuando hay poco recurso hídrico o cuando la demanda sea alta.

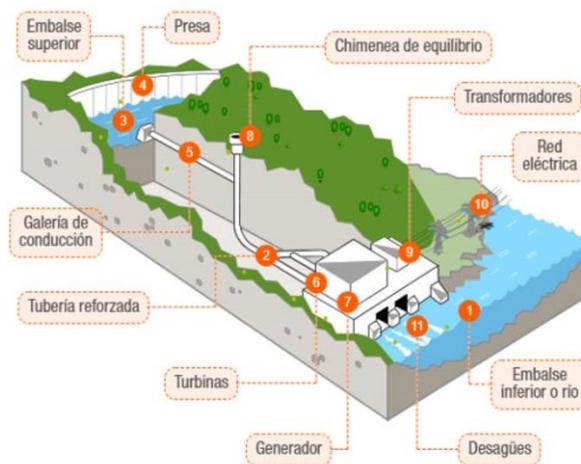


Figura 4. Esquema de una Central hidráulica de bombeo[5].

Las centrales hidráulicas con bombeo reversible gozan de mucha eficiencia y una larga vida útil, a pesar de la inversión inicial que resulta ser elevada debido a la obra civil y la cantidad de materiales utilizados, estos sistemas resultan ser muy exitosos, ejemplo de un sistema de bombeo es el Complejo Hidroeléctrico Rio Grande Córdoba, Argentina, tiene una capacidad de 750 MW, puede operar en modo de generación o bombeo. Cuenta con un embalse superior y uno inferior ubicado a 12 km aguas abajo, con un desnivel de 185 m. Transforma la energía de base y bajo costo marginal, en energía de punta en las horas de mayor demanda [2].



*Figura 5. Central hidráulica de bombeo, “Rio Grande” ubicada en Argentina[2].*

#### AIRE COMPRIMIDO (CAES)

El almacenamiento mediante aire comprimido CAES (Compressed Air Energy Storage) que consiste en guardar aire a grandes presiones en cavidades bajo tierra naturales o adecuados para su uso como minas abandonadas o acuíferos y utilizando la misma estrategia que las centrales hidroeléctricas de bombeo, en momentos de baja demanda el aire comprimido se almacena y se libera en momentos de alta demanda, el aire se expande moviendo un generador[6].

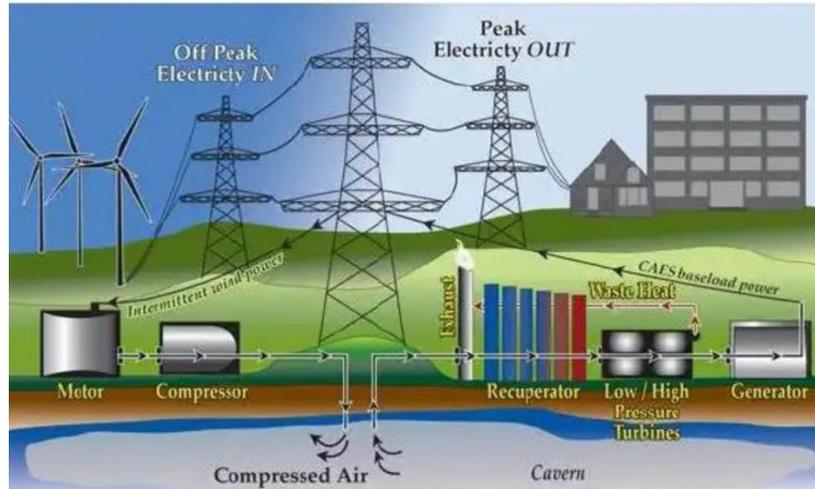


Figura 6. Esquema de funcionamiento de un sistema de almacenamiento CAES[6].

Los sistemas de almacenamiento con aire comprimido presentan muchas ventajas ya que pueden almacenar la energía por largos periodos de tiempo con el mínimo de pérdidas, poseen una buena eficiencia alrededor de 70%, sin embargo, si no existe un depósito natural y se tiene que construir uno, los costos de inversión pueden ser elevados. Un dato interesante de estos sistemas es que debido a su magnitud solo se puede construir sistemas de alta potencia desde los 50-300MW. Un ejemplo concreto de plantas CAES se encuentran en McInstosh, Alabama, con una potencia instalada de 110 MW[6].



Figura 7 Sistema de almacenamiento CAES ubicado en Alabama, USA[7].

## AIRE LÍQUIDO (LAES)

Para este sistema es necesario llevar el aire a una planta de licuefacción y enfriar el aire del medio hasta producir aire criogénico, posteriormente ese aire líquido se almacena a baja presión en un tanque de esta manera se puede almacenar una gran cantidad de aire en un espacio reducido y cuando sea necesario liberar ese aire se procede a la forma inversa, calentando el aire hasta evaporarlo y convertirlo en gas, esto se logra haciéndolo pasar por una serie de intercambiadores para llevarlo a unos  $400^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente luego de tenerlo a una elevada presión y temperatura este aire es enviado a una turbina generadora de electricidad para ser utilizada en momentos de gran demanda [8].

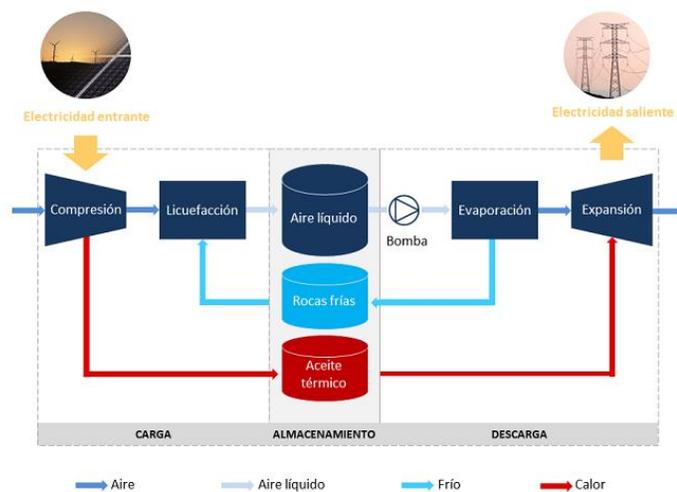


Figura 8. Esquema de funcionamiento de un sistema LAES [8].

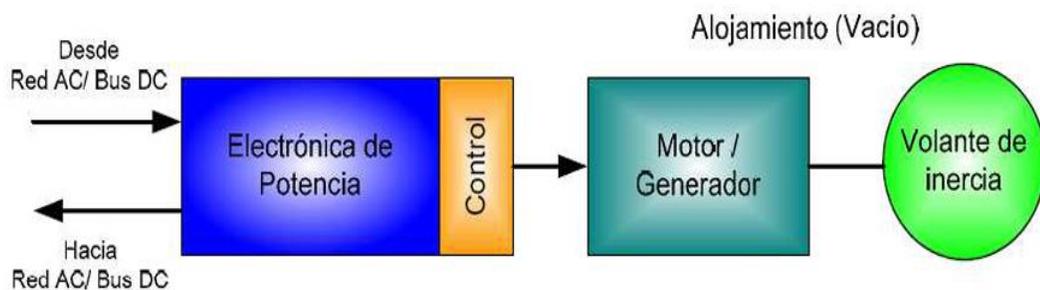
La planta de almacenamiento de energía de aire líquido (LAES) de Pilsforth, Reino Unido, actúa como una batería recargable gigante, absorbiendo el exceso de energía proveniente de la generación solar fotovoltaica y eólica, para después liberarla cuando sea necesario. La planta de Pilsforth tiene una capacidad de 5MW y puede almacenar 15 MWh de electricidad, suficiente para abastecer a unos 5.000 hogares de tamaño medio durante unas 3 horas [9].



*Figura 9. Sistema de almacenamiento de energía LAES ubicado en Reino Unido[9].*

## VOLANTES DE INERCIA

Estos dispositivos almacenan energía cinética a través de un disco el cual está en conjunto con una máquina eléctrica la cual puede operar como generador o como motor. Durante el proceso de carga o almacenamiento de energía cinética dicha máquina tiende a operar como motor cuando se le suministra electricidad independientemente si es de la red o alguna otra fuente de generación a base de fuentes de energía renovables. De manera inversa, en la descarga esta máquina opera como generador ya que transforma la energía cinética almacenada en energía eléctrica la cual se devuelve a la red hasta frenar este dispositivo hasta una velocidad mínima previamente establecida en los criterios de diseño que se le implementaron [10].



*Figura 10. Esquema de un sistema de almacenamiento cinético[10].*

Uno de los proyectos de volante de inercia con mayores dimensiones es la planta de almacenamiento de energía de *Stephentown de Beacon Power*. Empezó a funcionar en 2011 y es la más grande de Norteamérica. Tiene una capacidad de 20 MW con un tiempo de respuesta de 4 segundos, utilizando para ello 200 volantes de inercia de alta velocidad.[11].



*Figura 11. Planta de almacenamiento de energía de Stephentown de Beacon Power*[12].

## TERMICOS

La energía térmica puede manifestarse de distintas formas en la vida cotidiana, ejemplo de ello es la quema de combustibles fósiles para producir calor, el uso del calor del interior de la tierra para producir calor, el uso de la radiación solar para producir calor, etc. Sin embargo, este tema está enfocado a sistema de almacenamiento térmico por lo cual solo hablaremos de los sistemas de almacenamiento térmico con sales fundidas.

## ALMACENAMIENTO TERMICO SOLAR

Una planta solar térmica se compone de arreglos de reflectores de la luz solar llamados heliostatos, que se encuentran orientados estratégicamente hacia un foco en la cima de una torre donde la energía solar en forma de calor es concentrada para calentar un flujo de sales compuestas por una mezcla de 60%NaNO<sub>3</sub> y 40% KNO<sub>3</sub>, estas sales son utilizadas en este tipo de sistemas

debido a que poseen un alta capacidad calórica y gran estabilidad a altas temperaturas. Una vez las sales se funden son llevadas a un depósito de almacenamiento para luego ser llevadas a un intercambiador de calor donde se evapora agua para accionar una turbina eléctrica y donde estas sales son enfriadas y enviadas a un depósito en frio, para posteriormente ser bombeadas al foco de la torre.

Las sales utilizadas en estos sistemas tienen la capacidad de conservar muy bien el calor, para ser usado cuando no haya recurso solar o cuando haya mucha demanda de energía eléctrica, esta característica las convierte básicamente en una batería por lo que pueden contribuir a la estabilidad de la red con servicios complementarios o permitir una penetración e integración de fuentes intermitentes de generación eléctrica [13].

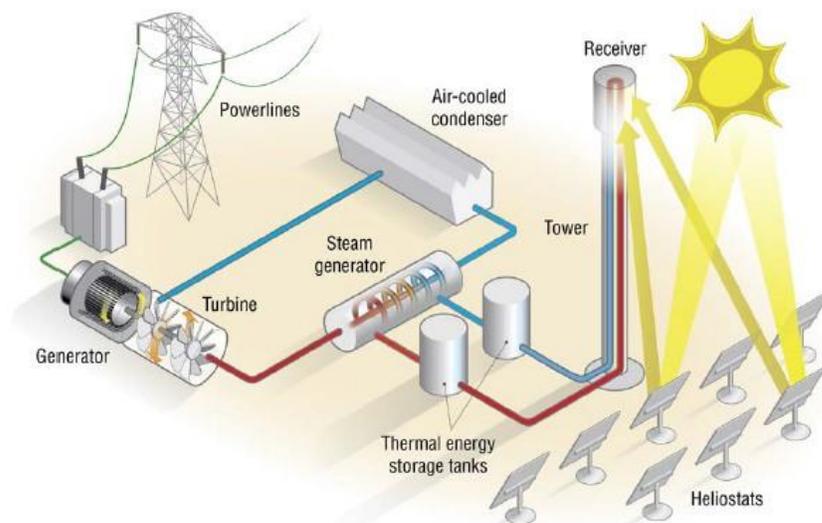


Figura 12. Esquema de funcionamiento de una planta termo solar[14].

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología es la planta termo solar “Atacama 1”, ubicada en el desierto de Atacama en Chile tiene una capacidad de 110MW conformada por 10.600 espejos con una superficie de 140m<sup>2</sup>[14].



*Figura 13. Planta termo solar “Atacama 1”, Chile[14].*

## QUIMICOS

Dentro de los sistemas de almacenamiento de energía a base de elementos químicos, el que más se destaca es el almacenamiento mediante hidrogeno.

### **2.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CON HIDROGENO**

El hidrogeno es un gas muy abundante en el planeta, entre sus características más importantes destacan su alta densidad energética por unidad de masa ( $33,3 \text{ kWh/kg}$ ). Un sistema de almacenamiento basado en hidrogeno utiliza la energía de la red o la energía eléctrica proveniente de fuentes renovables para hacer funcionar un electrolizador que se encarga de separar las moléculas de hidrogeno de las del oxígeno mediante un proceso llamado electrolisis. Luego el hidrogeno puede ser almacenado para posteriormente usarlo cuando se requiera. A partir del hidrogeno almacenado podemos generar energía eléctrica mediante una pila de combustión que se

encarga de transformar el hidrogeno en corriente continua y calor o bien se puede utilizar como gas combustible en industria y transporte[15].

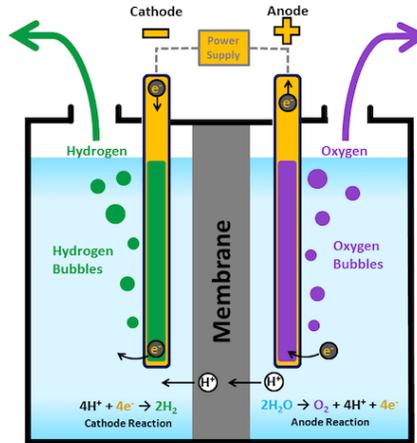


Figura 14. Proceso de obtención de Hidrogeno mediante electrolisis[15].

Las baterías de hidrógeno aún tienen un largo trayecto por seguir ya que se encuentra en vías de experimentación y aún no hay una demanda de hidrógeno como para hacerlo económicamente viable, no obstante, dado las grandes ventajas que nos promete, esto representaría toda una revolución energética.

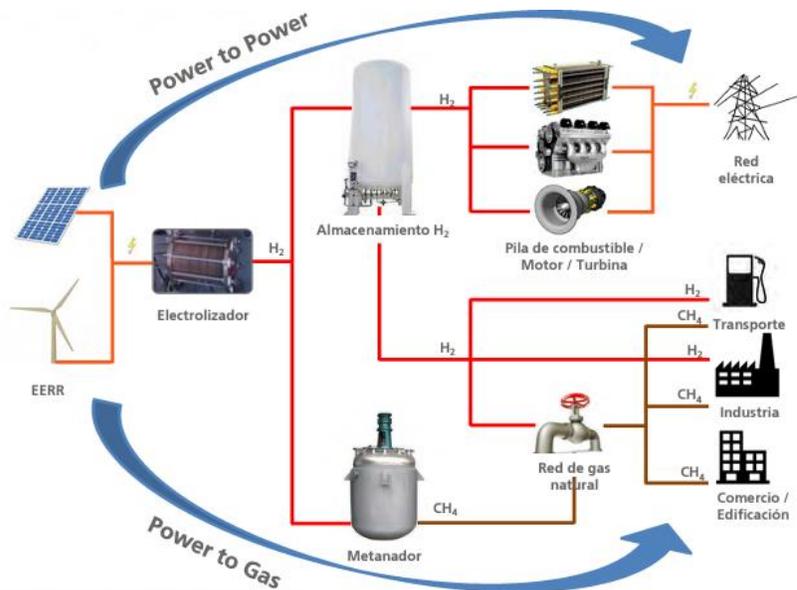


Figura 15. Esquema representativo del aprovechamiento del hidrogeno.

## ELECTRICOS

Los sistemas de almacenamiento tipo eléctrico son aquellos que involucran campos eléctricos o magnéticos para almacenar energía eléctrica, los más destacados son los supercondensadores.

## SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO POR SUPERCONDUCTORES

Los sistemas de almacenamiento de energía magnética por superconducción (SMES) almacenan energía en el campo magnético creado por las corrientes que circulan por un alambre bobinado, a diferencia de una bobina convencional, una bobina superconductora se mantiene a muy bajas temperaturas por medio de una cámara criogénica para evitar pérdidas óhmicas y conservar el campo magnético.

A pesar de la energía requerida para mantener temperaturas criogénicas en el sistema, esta tecnología resulta ser muy eficiente, alrededor del 90% y poseen la capacidad de brindar reserva rodante, regulación de voltaje y requieren poco espacio para su instalación[16].

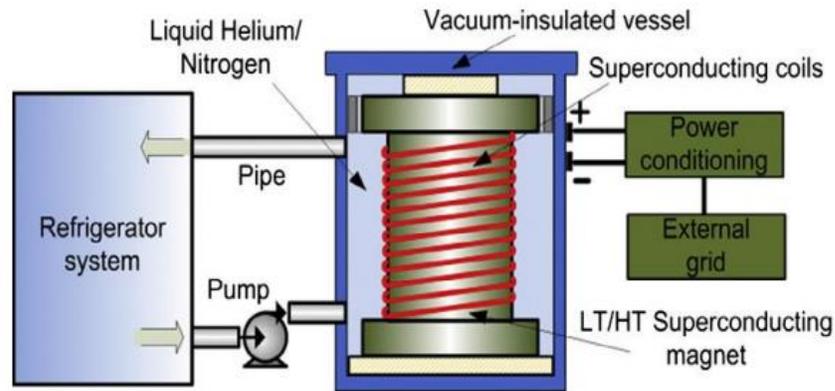


Figura 16. Bobina superconductora[16].

## SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO POR SUPERCONDENSADORES

Los supercondensadores o ultra condensadores de doble capa son utilizados hoy en día como sistemas de almacenamiento de rápida respuesta, ya que por su naturaleza estos condensadores tienen la capacidad de entregar grandes cantidades de energía en muy poco tiempo. Es por eso que la aplicación más conveniente es utilizarlos como regulación de voltaje o regulación primaria de frecuencia o estabilidad del sistema, sin embargo, estos sistemas tienen muy poca aplicación a gran escala ya que los costos son muy elevados, los costos de energía y potencia rondan los \$10,000/kWh y \$500/kW respectivamente [17]

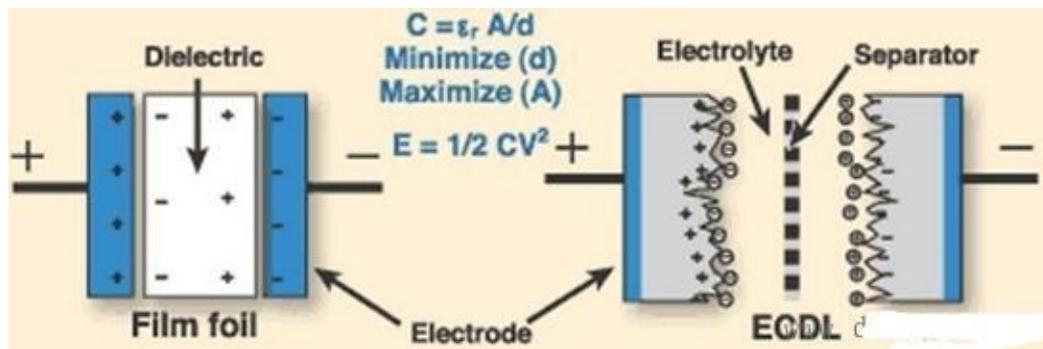


Figura 17. Almacenamiento de energía del supercondensador[17].

La Palma, España tiene un sistema de almacenamiento energético por supercondensadores de 4 MW/5s para regulación de frecuencia, está conectado a la red de voltaje medio (MV) mediante un convertidor electrónico de potencia y un transformador de MV/LV, tiene 55.55 F y 1080 Vcd de capacitancia y voltaje del banco de supercondensador, respectivamente [18].



*Figura 18. Sistema de almacenamiento de energía mediante supercondensadores, La Palma, España[18].*

## 2.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICOS

Los sistemas de almacenamiento de tipo electroquímicos aprovechan las reacciones químicas de algunos elementos para producir corriente continua. Hoy en día, con el auge de las aplicaciones de almacenamiento en la industria eléctrica se ha dado mucho a conocer las baterías de iones de litio, sin embargo, existen muchos tipos con diferentes características, todas con sus ventajas y desventajas. La batería es el principal elemento de un sistema de almacenamiento

electroquímico, por lo que en este capítulo se profundiza en conceptos generales, clasificaciones y tipos de baterías usadas para estos sistemas.

## CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS BATERÍAS

Una batería o acumulador es un conjunto de celdas electroquímicas que convierten la energía química de su interior en energía eléctrica en forma de corriente continua. Las baterías son una invención de hace varios años sin embargo hay cobrado mucha relevancia en la industria del almacenamiento de energía y se están estudiando profundamente para desarrollar mejores tecnologías, cada vez más eficientes y competitivas con las demandas de la industria del almacenamiento.

Las baterías poseen características comunes sin importar su clasificación o su tipo:

**Capacidad:** Mide la disponibilidad de energía de la batería, se mide en Ah y se refiere al tiempo de descarga de la batería. Por ejemplo, una batería C20 se descargará en 20 horas. En el caso de las baterías de litio la capacidad de descargas se mide en Wh.

**Profundidad de descarga:** Es el porcentaje de descarga que puede soportar la batería 100% cargada. Por ejemplo, una batería con PD del 50% soportara un 50% de descarga una vez se haya cargado al 100%.

**Ciclo carga/descarga:** El ciclo carga/descarga es el periodo transcurrido en la carga y la descarga de la batería, esto define también la vida útil de la batería.

**Efecto memoria:**Es la reducción de la capacidad de las baterías debido a que se carga la batería cuando no se ha descargado al 100%. Las baterías de iones de litio no sufren este fenómeno.

**Auto descarga:**Es el proceso mediante el cual la batería se descarga sin estar conectada a ningún aparato, esto depende de la temperatura y afecta a todas las baterías, aunque con diferente intensidad.

**Densidad de energía:** Es la relación entre la cantidad de energía de una batería y su volumen o masa, se mide en Wh/l y Wh/kg respectivamente.

## **TIPOS DE BATERÍAS Y SUS CARACTERISTICAS**

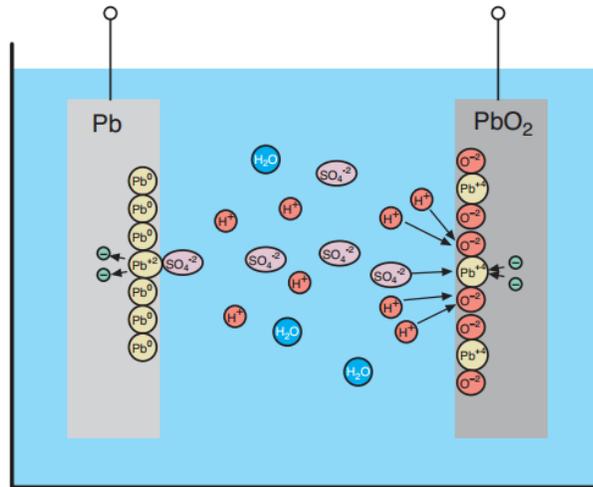
Las baterías tienen muchas clasificaciones según su construcción, según su tipo de descarga, según su uso, etc. Sin embargo, en este apartado solo se explican los distintos tipos profundizando en sus características, aplicaciones ventajas y desventajas.

### **Batería de Plomo ácido**

Las baterías de plomo ácido son llamadas así porque se componen de dos electrodos, uno positivo de óxidoplomo y uno negativo de plomo, ambos sumergidos en una disolución de ácido sulfúrico (electrolito) que producen una reacción química para generar una caída de tensión entre los electrodos de la batería, conducida por medio de la ionización del ácido sulfúrico y el plomo.

Las baterías a base de plomo son propensas a tener mayor auto descarga y necesitan de mantenimiento constante ya que emiten gases al exterior, necesitan cambio de agua cada cierto

tiempo y remoción de la corrosión formada en sus terminales. Algunas combinaciones como la batería de Plomo-Antimonio resultan ser más eficientes ya que soportan profundidades de descarga hasta 80% y tienen una vida útil de entre 10 y 15 años [18]



*Figura 19. Reacción química del electrolito sobre los elementos de plomo y dióxido de plomo[19].*

En el mercado hay 2 tipos principales de baterías de plomo-ácido ventiladas (VLA) y las baterías de plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA). Estas últimas tienen mayor vida útil ya que están parcialmente selladas para evitar la evaporación del electrolito. Existen estacionarias y de ciclo profundo, usualmente se encuentran de 2VDC nominales y con vida útil entre los 5 y 10 años, siendo las más longevas las de tipo estacionario que pueden alcanzar los 30 años.



*Figura 20. Tipos de baterías plomo acido.*

Estas baterías, aunque son una tecnología muy madura tiene sus pros y contras, por un lado, son económicas, alta disponibilidad en el mercado, reciclables, por el otro tienen baja densidad de energía, ciclos de vida relativamente cortos y mantenimiento elevado.

Sin embargo, estas baterías han tenido participación importante en la industria del almacenamiento eléctrico, ejemplo de ello es Proyecto Northees EES, USA que cuenta 36 MW/24 MWhen almacenamiento y se instaló para resolver problemas de intermitencia de la energía[18].

<b>Baterías de Plomo Acido</b>	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo coste Tecnología conocida</li> <li>• Rápida disponibilidad (cantidades, tamaños y diseños)</li> <li>• Celdas de voltaje elevado (en comparación con otro tipo de celdas)</li> <li>• Componentes fácilmente reciclables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía específica baja</li> <li>• Potencia específica baja</li> <li>• Ciclo de vida relativamente corto.</li> <li>• Mantenimiento elevado</li> <li>• Amenaza medioambiental (plomo y ácido sulfúrico)</li> </ul>

*Tabla 1. Ventajas y desventajas de las baterías plomo acido.[20]*

#### Baterías de Sulfuro de Sodio (NAS)

Tal como se muestra en la figura, durante su funcionamiento una batería de sulfuro de sodio, los electrodos de este tipo de baterías, el azufre fundido como cátodo y el sodio fundido como ánodo, se encuentran separados por un material cerámico en estado sólido que sirve de

electrolito, a través de este material pasan únicamente los iones de sodio con carga positiva hasta llegar al extremo del cátodo donde se acumulan los potenciales de la reacción química [21]

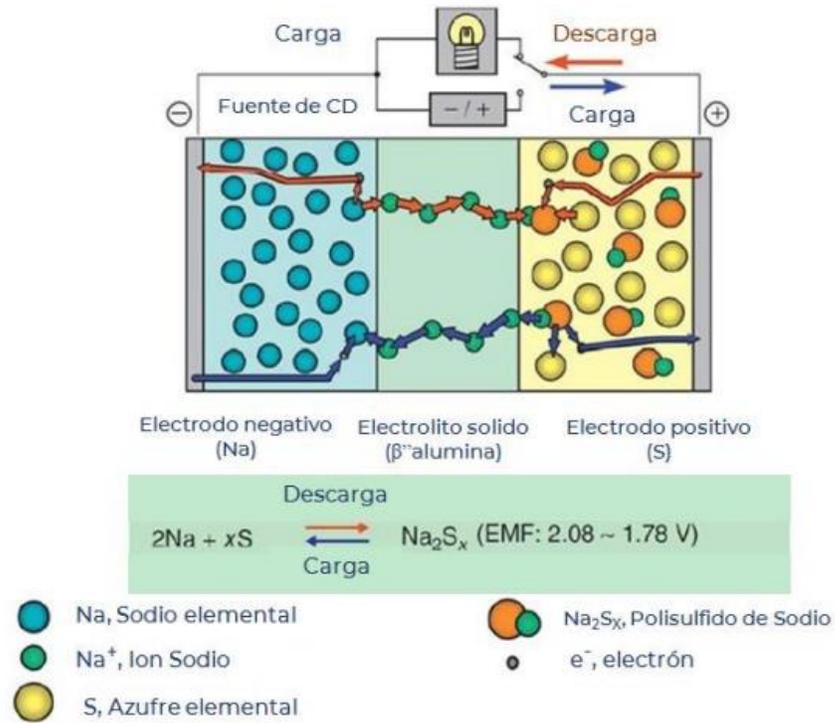


Figura 21. Funcionamiento de una batería de sulfuro de sodio[21].

Estas baterías requieren trabajar a una temperatura interna de alrededor de 300°C para poder llevar a cabo la reacción química, tienen una eficiencia cercana al 80% y tienen una vida útil alta. Esta tecnología aún está en desarrollo en Japón, sin embargo, se han instalado en dicho país sistemas de almacenamiento de energía utilizando esta tecnología, tal es el caso de un parque eólico de 51 MW, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 12 MWh (2MW en 6 horas) de baterías NaS, según [21].



Figura 22. Sistema de almacenamiento de energía con baterías sulfuro de sodio, Japón[21].

<b>Baterías de Sulfuro de sodio</b>	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga vida útil</li> <li>• Baja tasa de autodescarga</li> <li>• Alta energía específica y densidad de energía</li> <li>• No presenta efecto “memoria”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiencia</li> <li>• Muy elevada temperatura de trabajo</li> <li>• Elevado coste</li> </ul>

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las baterías sulfuro de sodio.[20]

### **BATERÍAS DE FLUJO REDOX DE VANADIO (VRF)**

Se le llaman baterías de flujo porque el electrolito que es almacenado en tanques para posteriormente hacerlo circular por las celdas mediante un sistema de bombeo, así, la capacidad de almacenamiento de la batería está determinada por la cantidad de electrolito contenido en los tanques.

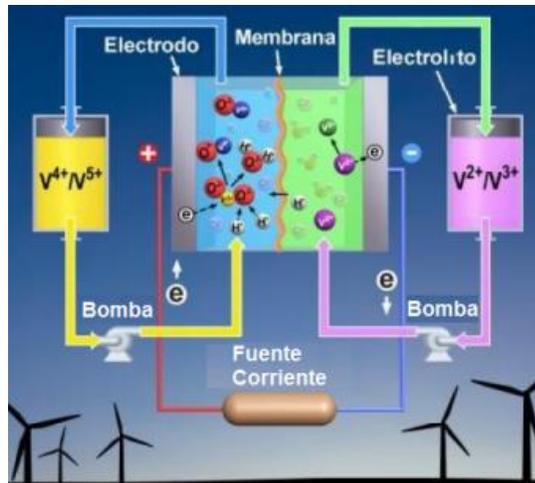


Figura 23. Funcionamiento de una batería redox de vanadio[21].

Los sistemas de baterías redox, pueden diseñarse para obtener autonomías de hasta 8 horas, tienen vida útil de hasta 25 años, pueden llegar a una profundidad de descarga del 100% y tienen eficiencias de hasta el 90%.

Baterías de Flujo Redox de Vanadio (VRF)	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad sin límite al aumentar el tamaño de los tanques de electrolito</li> <li>• No se daña al realizar descargas 100% DOD</li> <li>• Puede ser cargada por simple sustitución del electrolito</li> <li>• No se daña si accidentalmente se mezclan los electrolitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de energía pobre Energía específica pobre</li> <li>• Necesidad de sistema auxiliar para circulación y control de temperatura</li> <li>• El diseño del sistema debe asegurar la seguridad de todas las baterías</li> </ul>

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las baterías Redox de vanadio.[20].

## Baterías de Ion-Litio

Las baterías de iones de litio de componen de cuatro partes fundamentales, los electrodos (ánodo y cátodo), el electrolito y el separador. Durante el proceso de descarga el ánodo sufre una reacción de oxidación, es decir que pierde electrones, mientras que el cátodo sufre una reacción de reducción, es decir gana electrones produciéndose así una corriente eléctrica en el circuito exterior de la batería[22].

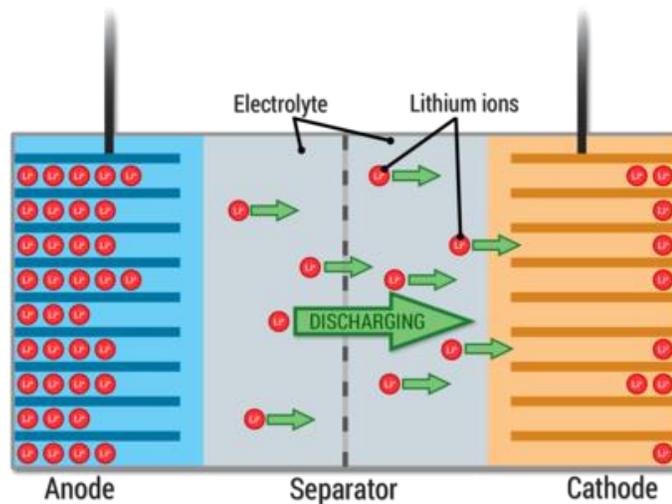


Figura 24. Proceso de descarga de una batería ion-litio[23]

Las baterías de ion-litio aunque tiene muchas bondades y hoy por hoy son las baterías más usadas en sistemas de almacenamiento, si no se les da un adecuado uso estas baterías pueden ocasionar explosiones e incendios, es por eso que se recomienda instalar sistemas de monitoreo si se va a trabajar con estas baterías, se recomienda que el sistema cuente con BMS (BatteryManagementSystem) para monitorear el estado de salud (SOH) y estado de carga de la batería (SOC), también es recomendable instalar un sistema de gestión de la energía (EMS) para monitorear la carga-descarga de las baterías y los niveles de energía disponibles en todo momento.

Industrias como TESLA ha apostado al almacenamiento de energía con baterías de iones de litio para sus autos y para la industria de la energía eléctrica. TESLA ha desarrollado una de los sistemas de almacenamiento más grandes de EEUU. La instalación se encuentra en Ontario, California y consta de 396 Tesla Powerpack (baterías del tamaño de un armario y una salida total de 20 MW), repartidas en 1,5 hectáreas, con capacidad para almacenar 80 megavatios-hora de electricidad, suficiente para mantener más de 2.500 casas un día o 15.000 hogares hasta 4 horas.



*Figura 25. Sistema de almacenamiento con baterías ion-litio de Tesla, California USA[24].*

Aunque esta tecnología aún tiene aspectos de mejorar, de hecho, ya se está trabajando en usar electrolito de estado sólido para corregir el riesgo de incendio, sin embargo, esta tecnología aventaja por mucho a las otras tecnologías y la tendencia de su uso para integración de las renovables solo va en aumento.

<b>Baterías de Iones de Litio</b>	
Ventajas	Desventajas

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selladas, no requieren mantenimiento</li> <li>• Larga vida útil Amplio rango de temperatura de trabajo</li> <li>• Baja tasa de autodescarga</li> <li>• Capacidad de carga rápida</li> <li>• Alta densidad de energía</li> <li>• No presenta efecto “memoria”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste inicial moderado</li> <li>• Necesidad de un circuito de protección</li> <li>• Degradación a altas temperaturas Pérdida de capacidad cuando sobrecarga</li> <li>• Daños irreversibles en descargas bajo un límite de todas las baterías</li> </ul>
--	--

*Tabla 4. Ventajas y desventajas de las baterías ion litio[20]*

### **2.3 APLICACIONES DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO**

Las soluciones de almacenamiento de energía ofrecen aplicaciones a lo largo de toda la cadena de valor de la industria eléctrica desde generación, transmisión y distribución hasta el usuario final. Son las más comunes aquellas aplicaciones que involucran autoconsumo, ya que son las que presentan mayor número de estudios en la actualidad. Las aplicaciones de un sistema de almacenamiento son muchas y están presentes en todas las etapas del sistema eléctrico, a continuación, se muestra una descripción de cada aplicación dentro de las etapas del sistema eléctrico.

- **Arbitraje de energía**

En esta aplicación podemos aprovechar dos modalidades, la primera es el almacenamiento de energía en periodos en donde la energía es más barata y usar dicha energía cuando la energía sea más cara o en periodos en donde no disponemos de recurso solar, si el sistema está provisto de un sistema solar en conjunto con el sistema de almacenamiento, esto lo que genera son ahorros en la factura de energía mensual del usuario. La segunda alternativa es almacenar la energía en

periodos en donde la generación de energía es abundante y luego verterla a la red cuando la energía tenga un mayor costo, o la generación es limitada, esta última se llama también nivelación de carga.

Esta aplicación resulta tener mayor provecho en los países en donde los precios de la energía tienen mayor diferencia entre periodos, por ejemplo, en Costa Rica, en donde la relación de precios entre energía punta y energía noche puede ser hasta de 4:1 y la relación de potencia puede ser de 2:1, para media tensión según datos publicados por CNFL (Compañía Nacional de Fuerza y Luz) en su sitio web oficial[25].

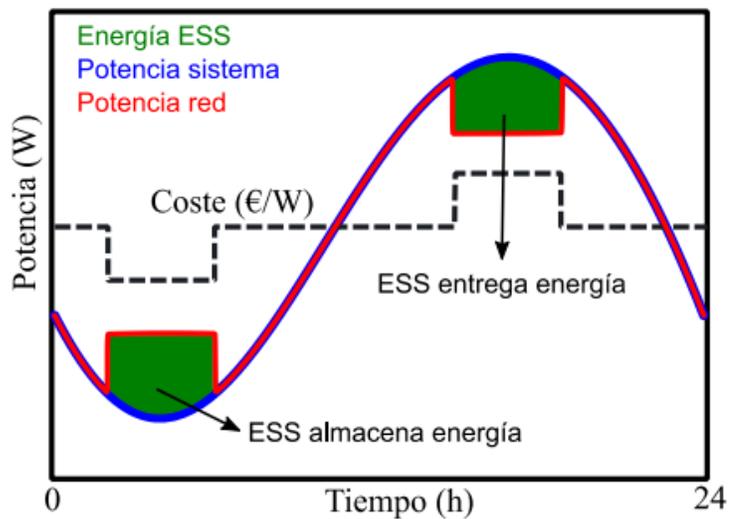


Figura 26. Esquema de funcionamiento del arbitraje de energía con almacenamiento con baterías.[26].

- **Recorte de picos de demanda o “Peak Shaving”**

El consumo de energía eléctrica en los distintos niveles del sistema eléctrico varía a lo largo del día o jornada laboral demostrando picos y caídas en la demanda, estos picos de demandan resultan ser muy perjudiciales en la factura mensual de los consumidores. Para los grandes usuarios, las compañías eléctricas miden el consumo en energía y en potencia demandada. En la factura mensual de energía se ve reflejado el consumo de energía medido en kWh, que es la cantidad de energía utilizada a lo largo de todo el periodo y la potencia demandada que es el punto más alto de consumo registrado en el periodo y es medido en kW.

Algunas de las estrategias que los consumidores han adoptado para reducir los picos de demanda en su consumo son:

#### Desplazamiento de carga

Este método consiste en mover bloques de carga para horarios donde haya menos demanda de energía, por ejemplo, si un determinado usuario ha identificado mediante la curva de demanda que en cierto horario se produce un pico de demanda, entonces se puede programar la operación de un porcentaje de la carga fuera del horario que se produjo el pico. Para el caso en que las operaciones del usuario le sea muy difícil implementar el desplazamiento de carga se pueden implementar otras alternativas como almacenamiento de energía.

#### Almacenamiento de energía

Los sistemas de generación de energía renovable como la energía solar fotovoltaica no son capaces de suplir picos de demanda, es por eso que últimamente se ha pensado en la implementación de sistemas de almacenamiento para suplir picos de demanda, esta estrategia permite al usuario evitar penalizaciones por exceso de demanda de energía en horario resto [27]

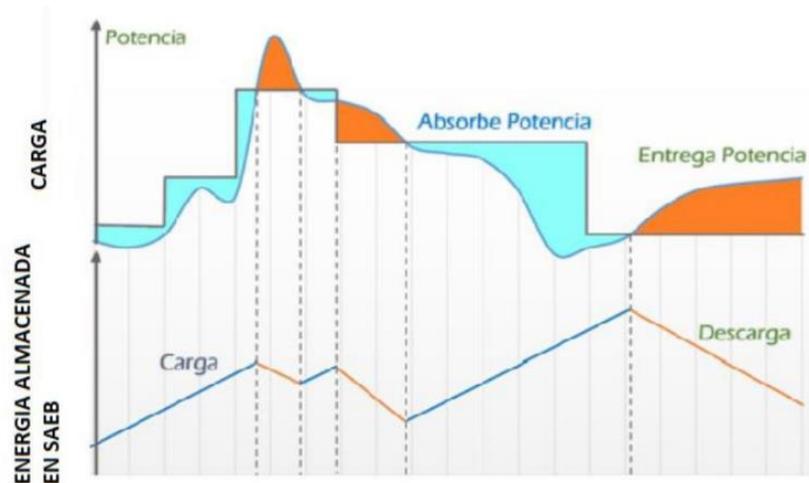


Figura 27. Esquema de funcionamiento del “Peak Saving” con almacenamiento con baterías[27].

- **Suavizado de la curva de demanda o Smoothing**

El suavizado de la curva de demanda tiene ciertas similitudes con el peaksaving, la principal diferencia es que el smoothing es una aplicación pensada para los generadores de energía a base de fuentes renovables y no para usuarios como industrias o centros comerciales.

Con el apogeo de la generación de energía con fuentes renovables como la energía solar y eólica la red eléctrica sufre fluctuaciones entre la curva de generación y la curva de la demanda. Entre mayor penetración haya de los sistemas de energía renovable en el sistema eléctrico, mayor será la fluctuación en la red, es por eso que el ente administrador del mercado eléctrico del país debe regular la generación fotovoltaica y eólica a fin de garantizar que estos generadores entreguen un nivel de potencia constante a la red[27].

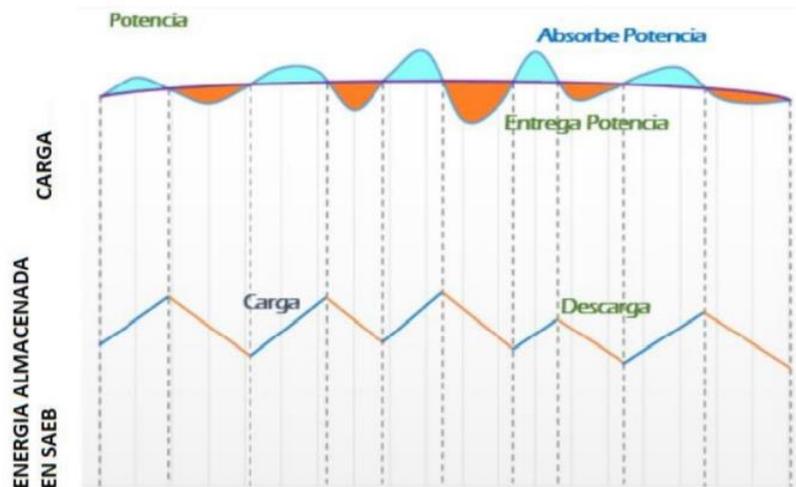


Figura 28. Aplicación de smoothing mediante un sistema BESS[27].

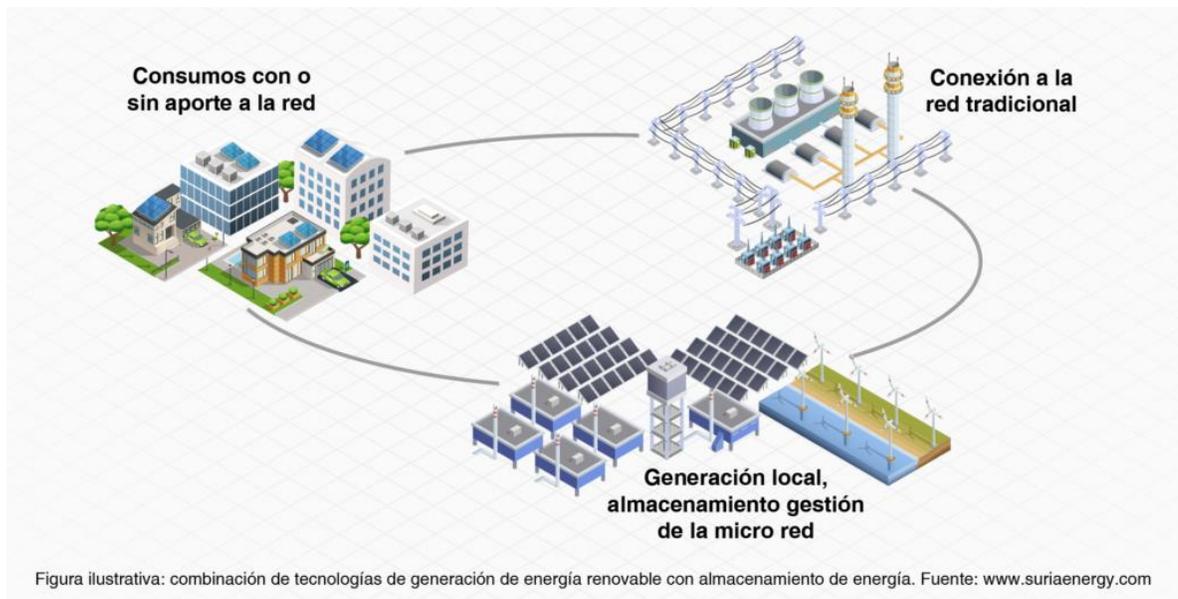
- **Micro redes**

Una microrred es un sistema de generación de energía eléctrica local con capacidad de control propio, de tal forma que es capaz de desconectarse de la red de distribución y operar de forma autónoma si así se requiere, también tiene la capacidad de funcionar conectado a la red eléctrica, aunque esto último se realiza con el fin de mantener el criterio “n-1” y garantizar así que las cargas conectadas nunca queden sin abastecimiento[28].

.Una micro red eléctrica está conformada por:

- Generadores a base de fuentes de energía renovables, puede ser solar fotovoltaica o eólica.
- Sistemas de respaldo como sistemas de almacenamiento energético con baterías o generadores diésel.
- Sensores y medidores en distintos puntos de la instalación, con fines de monitoreo y/o control.
- Cargas a las cuales se entrega el suministro de energía para su determinado consumo.

Las microrredes a menudo son llamadas también, redes inteligentes ya que no solo garantizan una gran confiabilidad de suministro eléctrico, sino que también poseen sensores y sistemas de monitoreo dispuestos en distintos puntos de la instalación con el fin de tener una mejor y más rápida respuesta a fallas que se pudieran presentar.



*Figura 29. Esquema de funcionamiento de una micro red[28].*

- **Servicios complementarios**

Los servicios complementarios son aquellos servicios necesarios para garantizar la calidad, seguridad y el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos. Los servicios complementarios principales son: Regulación de frecuencia y regulación de voltaje. La instalación de un sistema de almacenamiento de energías es capaz de proveer algunos de estos servicios, sin embargo, hay que tomar en cuenta la factibilidad económica de la instalación [27].

## 1. Regulación de frecuencia

En situaciones en que la carga (más pérdidas) supera la inyección de energía de los generadores, la frecuencia decrece. Por el contrario, en momentos en que la inyección supera a la carga, la frecuencia aumenta. Es por eso que se debe de tener un sistema de regulación de frecuencia para evitar estos problemas [27].

**Regulación primaria de frecuencia:** El control de frecuencia principal se activa automáticamente sin intervención humana, justo después del evento de sobre frecuencia o sub frecuencia. Los generadores que están equipados con sensores de frecuencia ajustarán su salida automáticamente.

**Regulación Secundaria de frecuencia:** El control secundario de frecuencia se activa unas decenas de segundos después también automáticamente, si el evento de distorsión de frecuencia no se corrige solo.

En la figura se aprecia como un sistema de almacenamiento absorbe los excedentes de inyección a la red, para posteriormente entregarla potencia almacenada cuando la inyección a la red es menor que la demanda, De esta manera el sistema de almacenamiento da el servicio de regulación de frecuencia a la red.

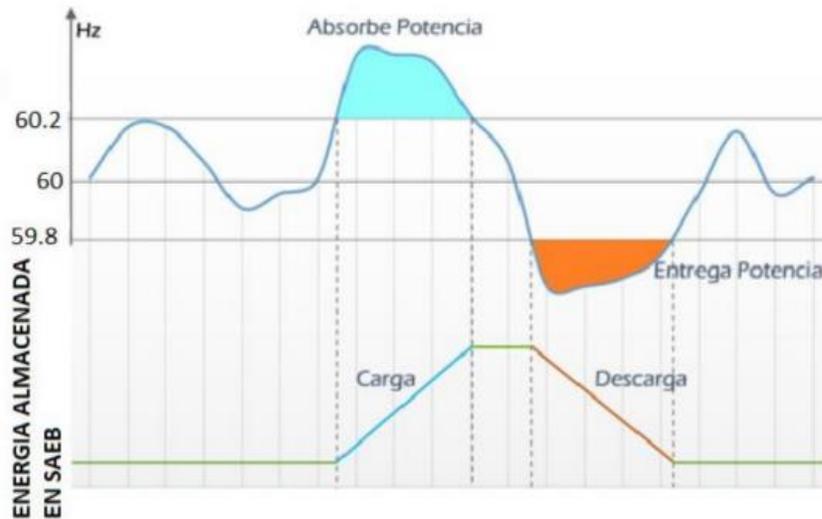


Figura 30. Sistema BESS para regulación de frecuencia[27].

## 2. Regulación de voltaje

Las fluctuaciones, caídas o huecos de tensión en la red de distribución pueden significar la parada de producción de algún proceso y la pérdida de miles de dólares e incluso daños de equipos, por eso se requiere garantizar calidad de la red a fin de evitar este tipo de inconvenientes[27].

En la figura se aprecia como un sistema de almacenamiento es capaz de entregar la potencia almacenada cuando hay una interrupción temporal, brindando una fuente de tensión temporal para el sistema para corregir caídas o huecos de tensión en la red eléctrica.

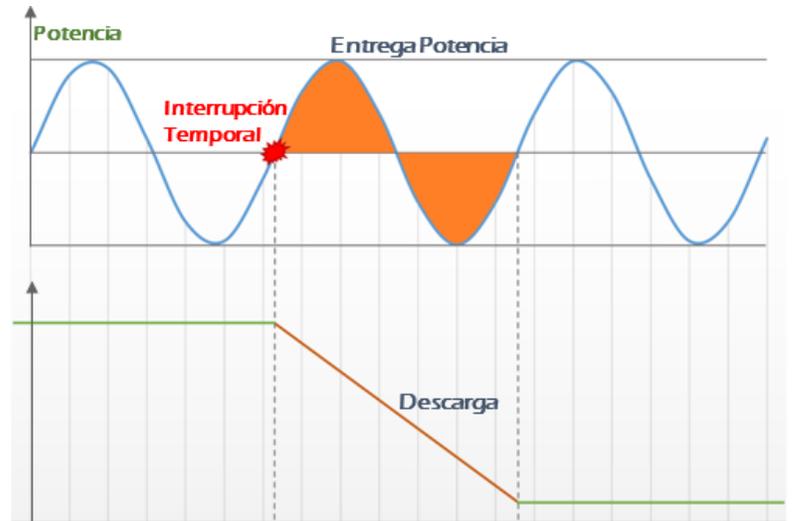


Figura 31. Respuesta rápida y precisa contra perturbaciones mediante un BESS[27].

### 3. Black Start:

El blackstart o partida autónoma es la capacidad que tiene un generador de iniciar su puesta en marcha después que se haya apagado completamente. Cuando un generador se apaga requiere de una fuente de energía alterna para poder empezar a establecer su servicio, usualmente se usan generadores diésel para proporcionar la energía necesaria para el arranque. Un sistema de almacenamiento a gran escala puede proveer la energía necesaria para llevar a cabo el Black start con la ventaja adicional que está entregando energía de calidad en el menor tiempo de respuesta posible[26].

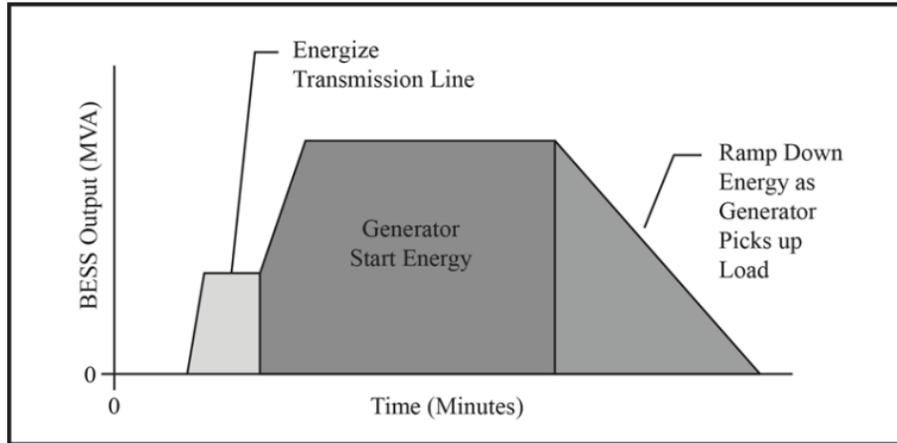


Figura 32. BESS para proporcionar servicios de restablecimiento del sistema (*Black start*)[26]

#### 4. Reserva rodante

La reserva rodante de un sistema eléctrico es la capacidad de algunas centrales eléctricas para funcionar por debajo de su producción normal, con la posibilidad de aumentar su generación repentinamente cuando la demanda lo requiera. Usualmente se utilizan turbinas a gas que funcionan al por debajo de su rendimiento máximo por lo que las hace muy ineficientes. Los sistemas de almacenamiento de energía puede ser una buena alternativa para sustituir la reserva rodante actual, permitiendo que las centrales eléctricas operen a su máxima eficiencia y generando ahorros en la operación de los sistemas de generación [27].

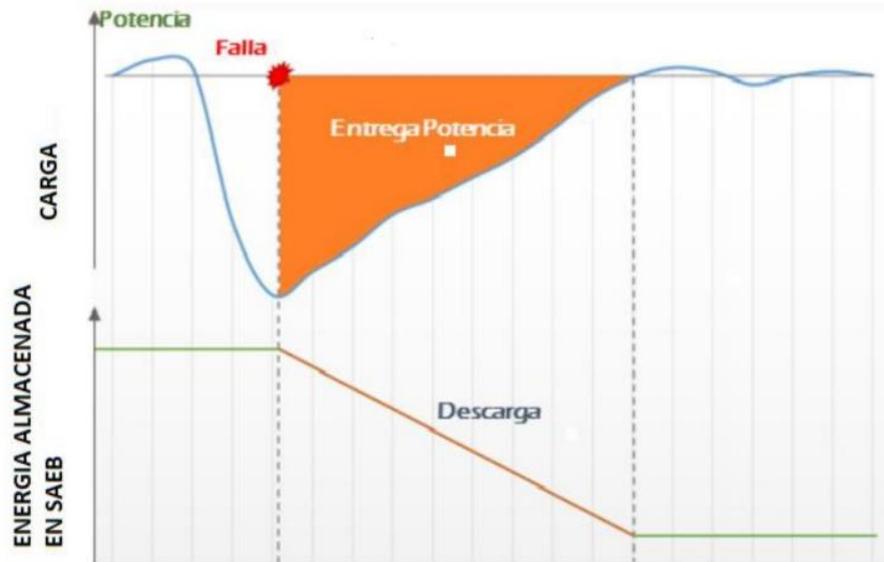


Figura 33. Aplicación de reserva rodante mediante un BESS[27].

### Capítulo 3 : EQUIPAMIENTO EN APLICACIONES DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON BATERÍAS

Si se habla de gran escala un sistema de almacenamiento con baterías está compuesto por cuatro elementos fundamentales los cuales son: un contenedor de baterías interconectadas entre sí denominado Battery Container (BC), un sistema de generación a base de fuentes renovables que puede ser solar fotovoltaico o eólico, un sistema de conversión de potencia, que no es más que un inversor central o un conjunto de inversores conectados entre sí, a este sistema se le denomina PowerConverterSystem (PCS) y por ultimo pero no menos importante están los sistemas de gestión de batería y gestión de energía, que se encargan de garantizar la seguridad operacional de las baterías, gestionan la carga y descarga, y monitorean el estado de las baterías en todo momento [27].

Si se habla de un sistema de almacenamiento de baja capacidad, éste se compone principalmente de un banco de baterías, inversores híbridos, inversores DC o inversores de baterías, un sistema de generación eléctrica que proporcione energía al sistema y demás componentes como conductores, protecciones, elementos de anclaje etc.

### 3.1 INVERSORES HIBRIDOS

Los inversores híbridos son ampliamente utilizados en sistemas híbridos o aislados ya que estos inversores tienen la capacidad de conectarse a distintas fuentes de potencia para garantizar el suministro eléctrico de la instalación, una de estas fuentes puede ser la red de distribución de energía para satisfacer la demanda en horas nocturnas, a generadores de energía a base de fuentes renovables como lo es la fotovoltaica o eólica, a un banco de baterías y a un generador convencional (diésel).

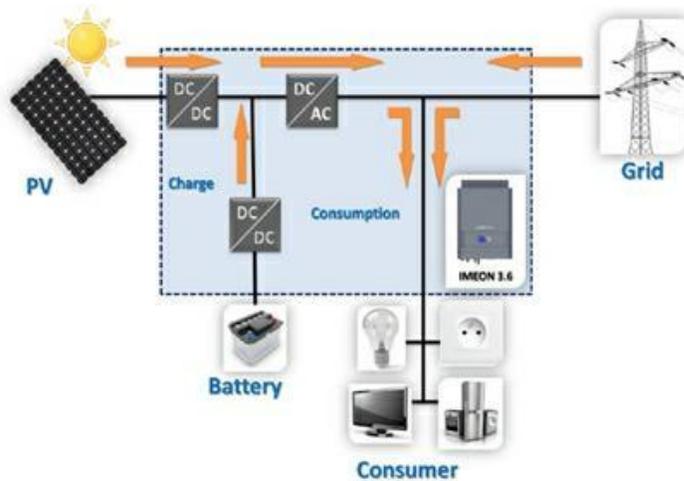


Figura 34. Diagrama de un inversor híbrido conectado a la red[29].

### CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERSORES HÍBRIDOS

Podemos distinguir a los diferentes tipos de inversores en base a sus parámetros más importantes los cuales los definimos de la manera siguiente:

**Eficiencia:** La cual es la energía que se produce en los paneles solares, pero en el proceso de conversión de la energía se presentan pérdidas por diversos factores y mientras menos pérdidas existan en ese proceso más eficiente será el inversor.

				
Fronius Primo GEN 24 5.0 PLUS	VICTRON MultiPlus-II 5000W GX	INGETEAM Ingecon 1Play TL 5.0	KOSTAL PIKO MP plus 4.6	SMA Sunny boy storage 5.0
97,6%	96%	96%	97,4%	97,5%
				
SolarEdge StorEdge HD-Wave SE5000H	SolaX X1 Hybrid 5.0T HV 4999VA	HUAWAI SUN2000L-5KTL	GOODWE GW5048-EM - 5000W	
99,2% (1º)	97,8% (3º)	98,4% (2º)	97,6%	

Figura 35. Comparativa de diferentes inversores y su eficiencia[30].

**MPPT:** los MPPT son seguidores de punto máximo de potencia lo cual permite que los paneles solares estén funcionando con la máxima eficiencia.

Por lo general en los inversores híbridos cuentan con 2 MPPT como lo muestra la siguiente imagen:

				
Fronius Primo GEN 24 5.0 PLUS	VICTRON MultiPlus-II 5000W GX	INGETEAM Ingecon 1Play TL 5.0	KOSTAL PIKO MP plus 4.6	SMA Sunny boy storage 5.0
2	MPPT externo	2	2	2
				
SolarEdge StorEdge HD-Wave SE5000H	SolaX X1 Hybrid 5.0T HV 4999VA	HUAWAI SUN2000L-5KTL	GOODWE GW5048-EM - 5000W	
1 por panel	2	2	2	

Figura 36. Cantidad de MPPT por cada entrada de inversor[30].

Es importante mencionar que su precio, años de garantía, mantenimiento, funcionamiento aislado y su corriente máxima de carga también son factores a considerar en una instalación fotovoltaica.

### 3.2 CONTROLADORES DE CARGA

Teniendo en cuenta que la energía solar es inestable y posiblemente se produzcan sobrecargas en las baterías, resulta necesario instalar un controlador de carga entre los paneles solares y las baterías con la finalidad de evitar dichas sobrecargas y sobre descargas, controlando la energía que circula entre las baterías y los paneles solares.

#### TIPOS DE CONTROLADOR DE CARGA

Podemos destacar dos tipos de controladores de carga como los siguientes:

Controlador de carga PWM y controlador de carga MPPT

**Controladores de carga PWM:** se caracterizan por el hecho de que deben ser utilizados con baterías y paneles solares que estén funcionando a la misma tensión, como forma de ejemplo podríamos mencionar una instalación fotovoltaica en la cual sus paneles funcionen a 12 V y las baterías a esa misma tensión.



*Figura 37. Controlador de carga PWM[31]*

**Controlador de carga MPPT:** Este se caracteriza por hacer que se asegure el máximo rendimiento de una instalación fotovoltaica, protegiendo y prolongando la vida útil de las baterías.



*Figura 38. Controlador de carga MPPT[31].*

## **ETAPAS DE CARGA DE UN CONTROLADOR**

La mayoría de los controladores MPPT y PWM utilizan un algoritmo de carga de 4 etapas para una carga rápida, eficiente y segura de la batería. Hablemos entonces de estas etapas:

**Etapas de Carga Masiva (BulkChargeStage).** En esta etapa la batería no está al 100% de carga y el voltaje de la batería aún no ha llegado al punto de la tensión de absorción

**Etapa de Absorción (AbsorptionStage).** Cuando la batería se haya recargado al voltaje de absorción, la regulación de voltaje constante se usa para mantener la tensión de la batería en etapa de absorción. Esto evita el calentamiento y desgasificación excesiva de la batería. Este periodo dura 2 horas aproximadamente.

**Etapa de flotación. (FloatStage).** Después de que la batería se haya cargado por completo en la etapa de absorción, el controlador de cargaes el que mantiene ese nivel de tensión en la batería sin someter a ésta a la sobre carga evitando así sobre calentamiento y/o gasificación de la batería.

**Etapa de ecualización (EqualizationStage).** En esta etapa el controlador de carga eleva el voltaje de la batería por encima del voltaje de absorción, para agitar el electrolito y que los gases se mantengan estables.

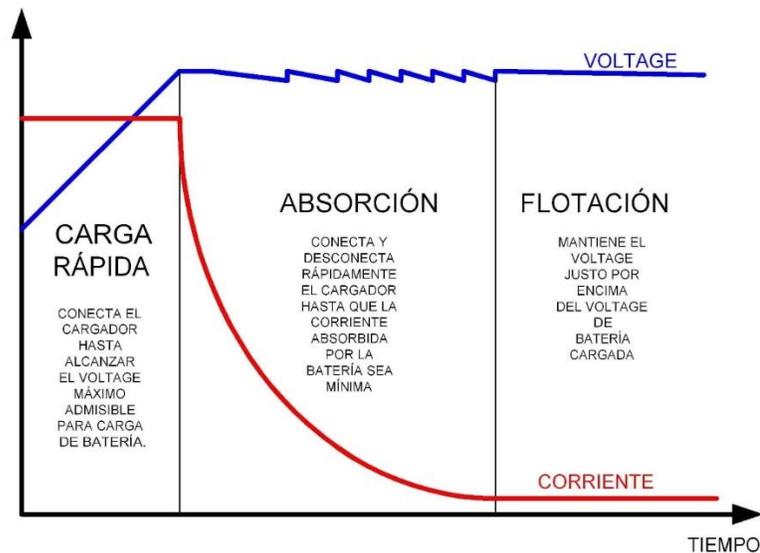
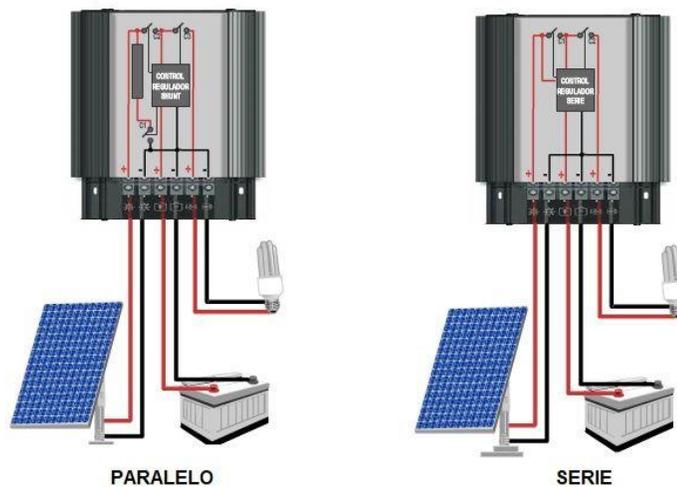


Figura 39. Etapa de carga de un controlador solar[32]

## CONEXIÓN INTERNA DE LOS CONTROLADORES DE CARGA

**Controlador de carga en serie**, en la actualidad es el que más se utiliza en instalaciones fotovoltaicas ya que es capaz de desconectarse cuando la tensión alcanza un nivel máximo previamente establecido y por las horas nocturnas desconecta el circuito de los paneles solares para evitar que las baterías se descarguen en dichos paneles.

**Controlador de carga en paralelo**, este tipo de controlador está en desuso ya que presenta muchos problemas como pérdidas de potencia y reducción del valor máximo de carga haciéndolos muy ineficientes para utilizarlos en proyectos grandes.



*Figura 40. Controlador de carga serie y paralelo[33].*

### 3.3 TIPO DE BATERÍAS EN UN BESS

Las baterías utilizadas en sistemas de almacenamiento pueden ser de distintos tipos, ya hemos visto en el capítulo 2 que muchas aplicaciones de almacenamiento que han utilizado distintas tecnologías de almacenamiento con baterías, sin embargo, hoy en día se están utilizando las baterías de ion litio, por ser más eficientes, tener mayor vida útil, mayor eficiencia y poco mantenimiento a lo largo de su vida útil. Y es que, si las compráramos con las otras tecnologías de

baterías, las baterías de iones de litios compensan su alto costo con lo ventajosas que resultan sobre los otros tipos de baterías

CRITERIOS GENERALES	Plomo Ácido	Niquel Cadmio (NiCd)	Sulfuro Sodio (NAS)	<b>Litio-Ion</b>
Eficiencia	50 - 95%	70 - 90%	75 - 90%	80 - 90%
Potencia Especifica (Potencia/Peso)	180 Wh/Kg	150 Wh/Kg	155 Wh/Kg	250 - 340 Wh/Kg
Descargas Internas	3 - 20% / mes	10% / mes	20% / día	0.1 a 0.3% /día
Vida Útil	Años	Baja	> 8 años	> 10 años
Residuos contaminantes	SI	SI	-	SI
Ciclos	500 - 800 ciclos	2.000 ciclos	3.000 ciclos	10.000 ciclos

Tabla 5. Comparación de los diferentes tipos de baterías[27].

como se aprecia en la figura, las baterías de ion-litio junto con las baterías de flujo son las que más crecimiento han tenido en el mercado eléctrico mundial, y al parecer esta tendencia va en aumento.

Chart 1.1 CRES Installed Capacity by Technology, World Markets: 2012-2022

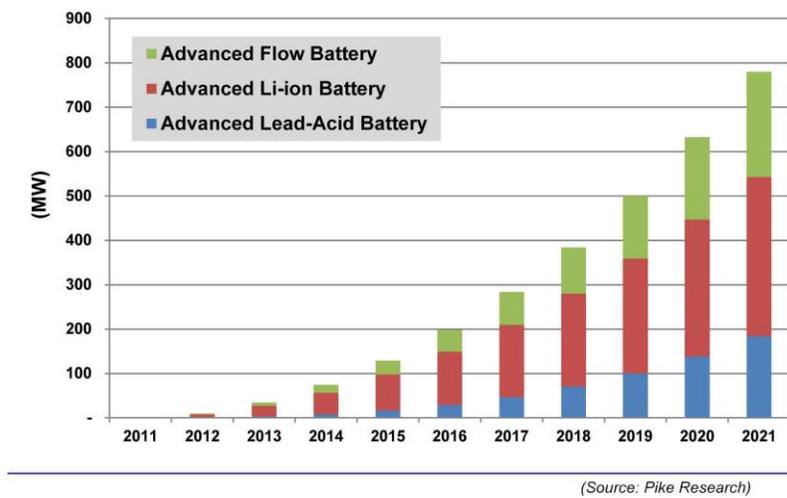


Figura 41. Capacidad de almacenamiento por baterías instalada en el mundo 2012-2022[34].

### 3.4 INTERRUPTORES DE TRANSFERENCIA EN APLICACIONES DE ALMACENAMIENTO

El interruptor de transferencia es el que se encarga de abrir o cerrar el paso de energía desde la red a la instalación eléctrica de consumo o desde el GFV hacia la instalación eléctrica de tal manera que la instalación eléctrica no quede sin una fuente de potencia en ningún instante.

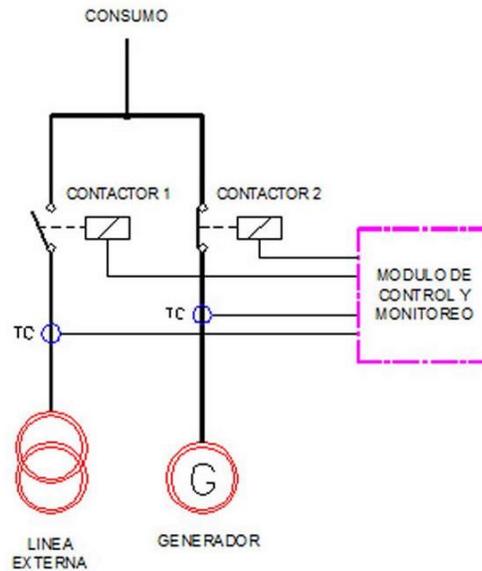


Figura 42. Interruptor de transferencia[35].

#### 3.4.1 INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO (ATS)

Cuando se detecta una anomalía en el sistema, el Switch de Transferencia Automática (ATS) puede convertir su fuente de alimentación de fuera de la red (off grid) a conectada a la red (ongrid). Cuando la batería fotovoltaica esté baja, el sistema cambiará automáticamente a la red eléctrica para que siga funcionando[36].



Figura 43. Interruptor de transferencia automática solar[36].

Los interruptores de transferencia automáticos (ATS) pueden seccionar la carga por medio de dos diferentes mecanismos de transición:

### Transición abierta

El interruptor de transferencia interrumpe su conexión a una fuente de energía 1, antes de realizar una conexión a la fuente de energía 2. Las transiciones abiertas incluyen retardo abierto y apertura en fase[37].

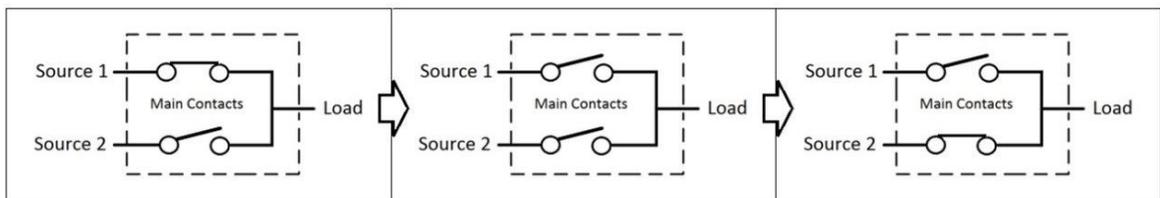
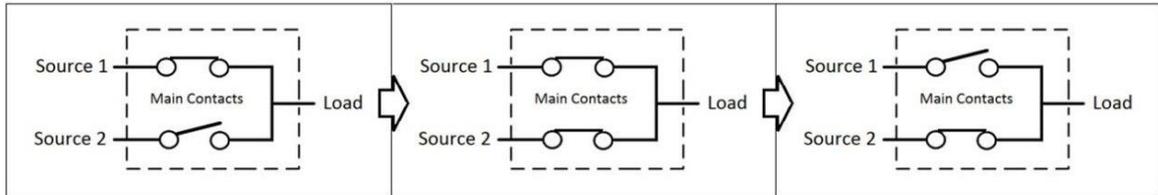


Figura 44. Transición abierta[37].

### Transición cerrada

El interruptor de transferencia realiza una conexión a una segunda fuente de energía antes de interrumpir su conexión con la primera fuente de energía. Como no hay espacio entre la desconexión y la conexión, las cargas descendentes reciben energía continua durante todo el proceso de transferencia.



*Figura 45. Transición cerrada[37].*

### 3.5 SISTEMAS DE CONTROL DE UN SAEB

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías BESS, pensados para una aplicación a gran escala y/o para ser conectados a la red, constan de sistemas electrónicos complejos para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y así mismo salvaguardar la vida de los operarios de dichas instalaciones[38].

#### 3.5.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE BATERÍA BMS

Un BMS está compuesto por un hardware y un software que controlan la carga y descarga de una batería garantizando al mismo tiempo una operación confiable y segura. Por lo tanto, los BMS cuentan con sistemas de monitoreo estado de carga y estado de salud de las baterías, SOH y SOC, para garantizar un apropiado control de la carga y descarga de las baterías y asegurar la operación confiable y sin peligro de sobrecargas o sobrecalentamiento[39].

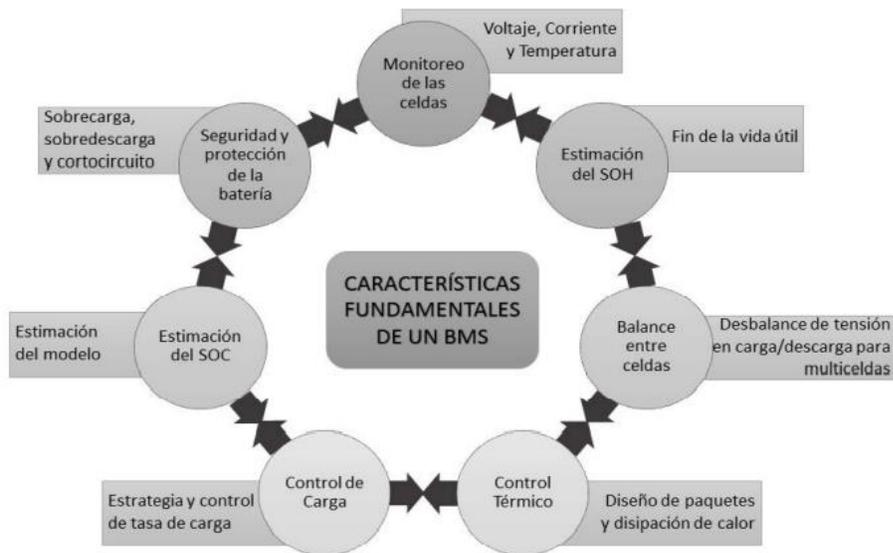


Figura 46. Características fundamentales de un BMS[39].

### 3.5.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA EMS

Un EMS es una unidad de control de un sistema de almacenamiento de energía en batería. Gestiona la energía disponible en un BESS, es decir, cuando, porqué y en qué cantidades acumular o liberar energía. Un EMS optimiza el rendimiento global de un BESS [40].

### 3.5.3 SISTEMA DE SEGURIDAD DE LA BATERÍA

El sistema de seguridad y climatización de la batería es importante para evitar incendios. El sistema HVAC permite a un BESS mantener la temperatura y la humedad deseadas mediante calefacción, ventilación y aire acondicionado [40].

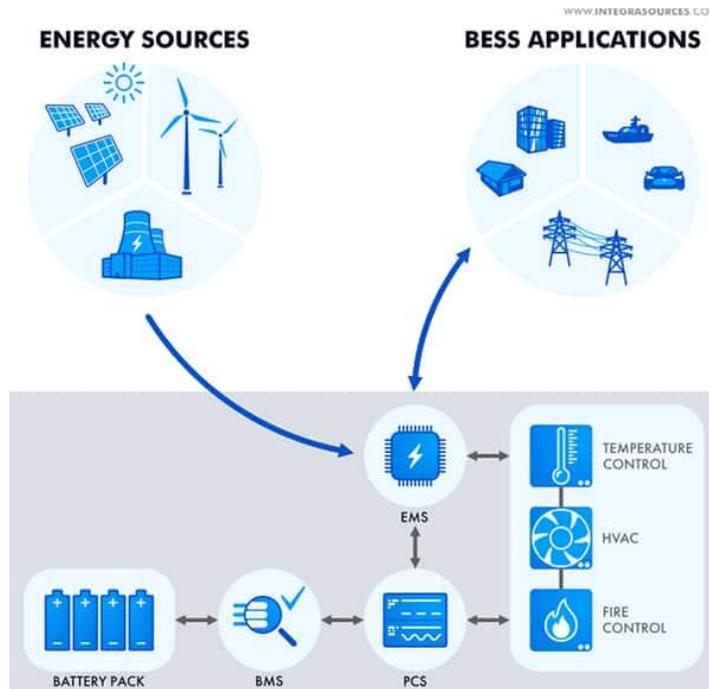


Figura 47. Estructura típica de BESS[40].

### 3.6 ESQUEMAS DE INTERCONEXIÓN ENTRE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y UN SFV

Los esquemas de interconexión nos permiten saber los elementos necesarios para realizar la interconexión de un sistema de generación Fotovoltaico con un BESS, según la topología que se vaya a implementar.

#### 3.6.1 STAND-ALONE OFF-GRID SIN FUNCIÓN DE CARGA A LA RED.

Este esquema se utiliza en sistemas aislados, pues las cargas no son alimentadas por la red de distribución. El esquema se compone de un banco de baterías alimentado por un regulador de

carga capaz de extraer energía de un arreglo de paneles fotovoltaicos. En este esquema, las cargas CA son alimentadas por el inversor [41].

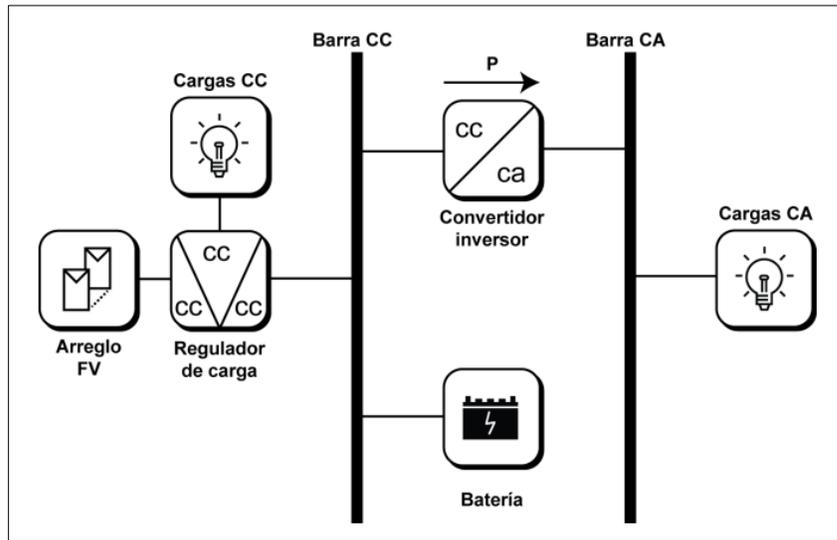


Figura 48. Esquema de "stand - alone" off grid[41].

### 3.6.2 STAND-ALONE OFF-GRID CON FUNCIÓN DE CARGA A LA RED

Este esquema también es utilizado en redes aisladas. Es una ampliación del esquema anterior con la excepción de que este tiene la posibilidad de cargar el banco de baterías desde la red AC aislada y no solo de la red DC como vimos en el esquema anterior.

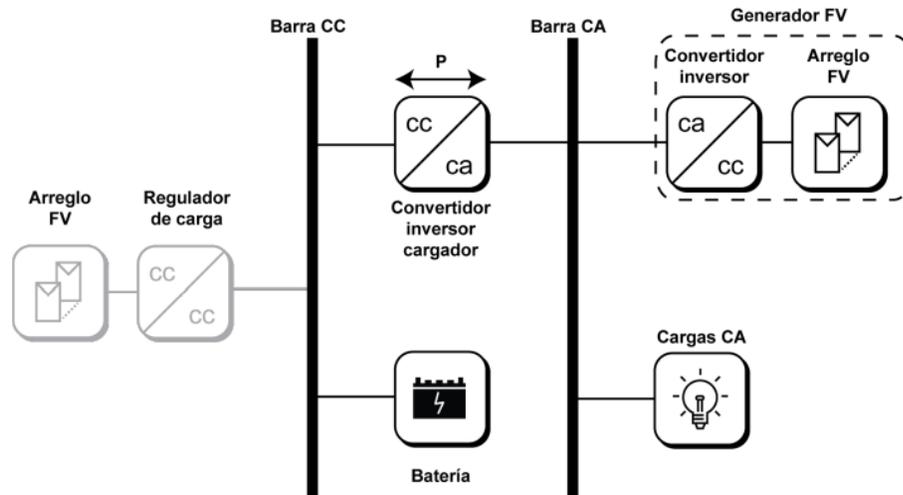


Figura 49. Esquema de “stand – alone con función de carga a la red” off grid[41].

### 3.6.3 HIBRIDO

Este esquema de conexión se usa para sistemas aislados, como también en sistemas conectados a una red de distribución, se pueden conectar al sistema a un generador FV, al mismo tiempo que se conecta a la red distribución y a un generador convencional (diésel). Es posible cargar el banco de baterías tanto desde un generador FV como también de la red de distribución.

Nótese que este esquema ya cuenta con un sistema de comunicación para garantizar la correcta gestión de los equipos involucrados. Este esquema es el más usado en sistemas híbridos [41].

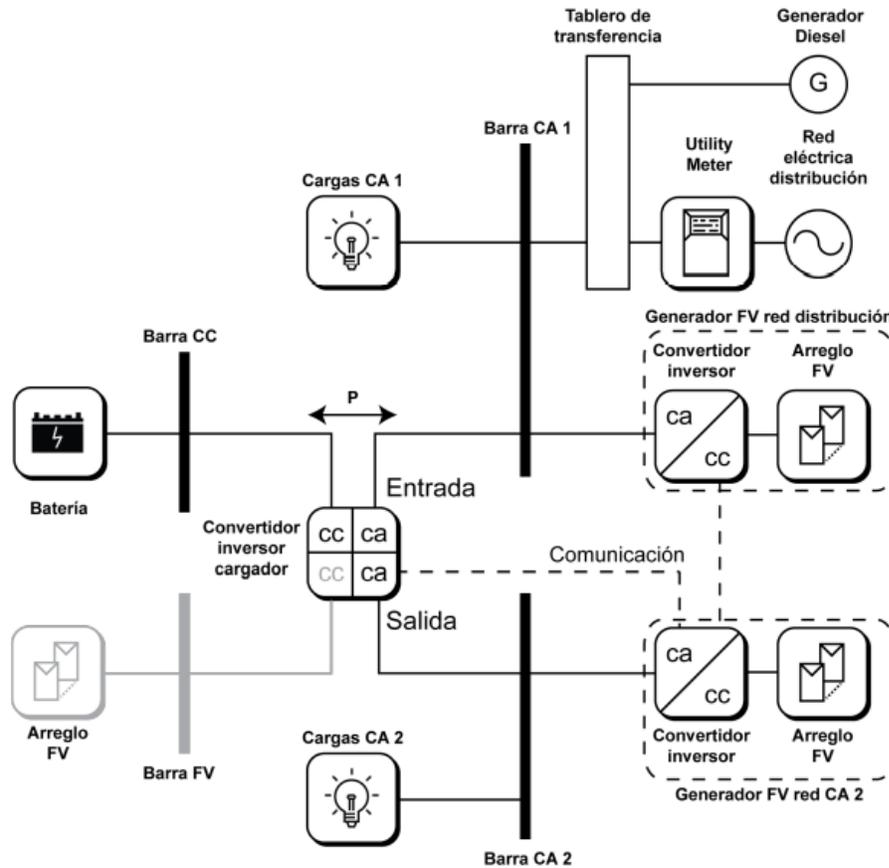


Figura 50. Esquema híbrido[41].

### 3.6.4 HÍBRIDO CON LIMITACIÓN DE INYECCIONES

En este esquema sigue la misma lógica que el esquema híbrido mostrado anteriormente, a diferencia que se ha agregado la función de inyección hacia la red de distribución mediante un energy meter. Este equipo se comunica con los equipos de generación para administrar la energía del sistema que entra y sale del sistema y llevar un control de cuanto se consume y cuanto se inyecta a la red [41].

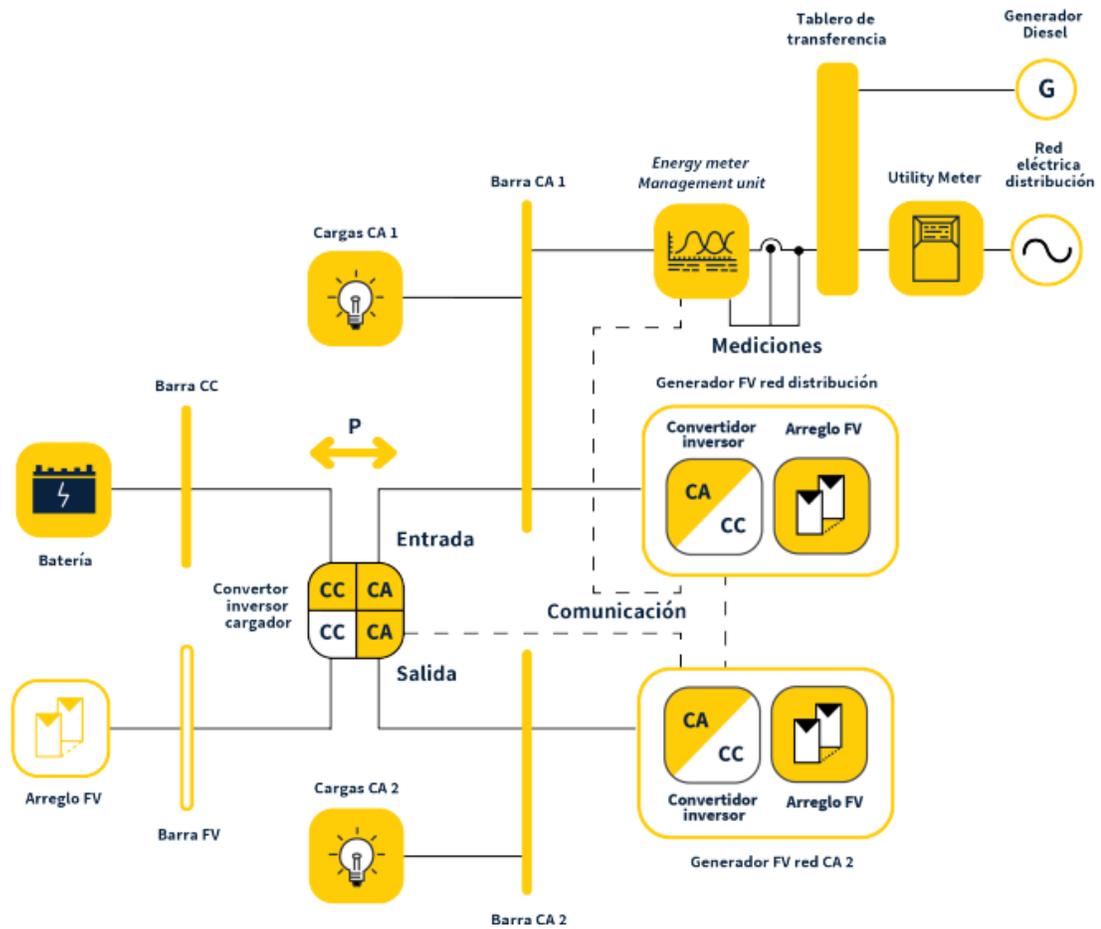


Figura 51. Esquema híbrido con limitación de inyección[41].

### 3.6.5 CONECTADO A LA RED CON LIMITACIÓN DE INYECCIÓN

Para el esquema de conexión donde solo existe una red eléctrica en CA. La red AC en este esquema puede ser aislada o proporcionada por la distribuidora o un generador diésel. El banco de baterías es cargado desde cualquiera de las redes AC disponibles, desde la barra AC principal. Este esquema también cuenta con un sistema de comunicación para gestionar los equipos y también cuenta con un energy meter para gestionar las inyecciones hacia la red [41].

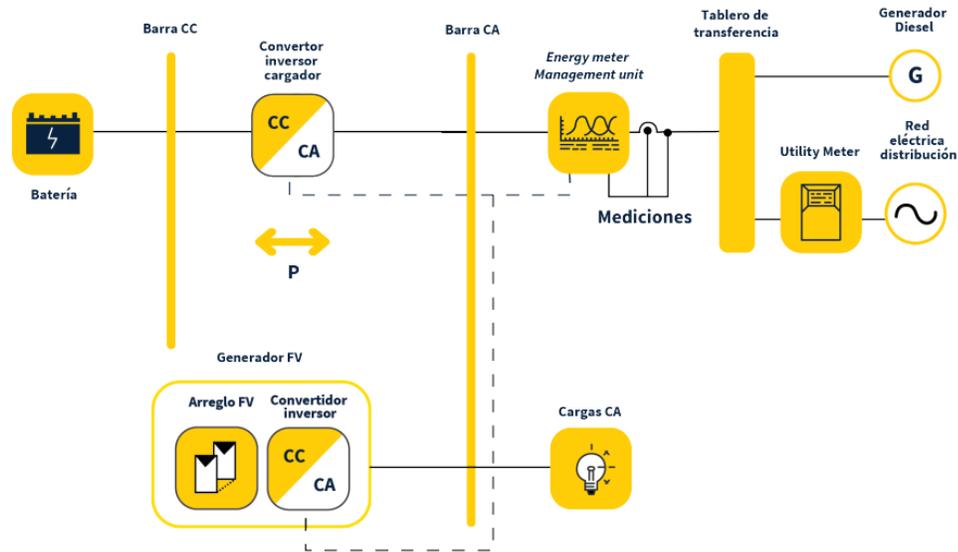


Figura 52. Esquema conectado a la red con limitación de inyección[41].

### 3.7 SOLUCIONES COMERCIALES

Actualmente muchas empresas, aunque no dedicadas al 100% a la industria solar, han apostado al desarrollo de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías, tal es el caso de empresas como WEG o ABB. Con el decremento de los costos de las baterías muchas empresas ven cada vez más atractivo este mercado por lo que se están desarrollando sistemas de almacenamiento unificado, es decir que en un solo contenedor puede estar instalado el conjunto de baterías, sistemas de monitorización y control, sistema de protección, incluso los transformadores e inversores. Estas soluciones son muy interesantes ya que facilitan la instalación de los sistemas en el proyecto. A continuación, se muestra una tabla comparativa de las soluciones comerciales que las empresas dedicadas a este rubro ofrecen.

<b>SOLUCIONES COMERCIALES PARA SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON BATERÍAS</b>	
Sistema de almacenamiento	WEG
Características generales	El sistema está compuesto por una solución de control y gestión energética, que coordina los modos de operación y optimiza su funcionamiento, garantizando mayor eficiencia y aprovechamiento de los recursos energéticos, además de flexibilidad operacional y confiabilidad de suministro de energía [42].
Principales componentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrocentro especial para ESS;</li> <li>• Convertidor bidireccional;</li> <li>• Banco de baterías;</li> <li>• Transformador de potencia;</li> <li>• Cuadros CC;</li> <li>• Cuadros CA;</li> <li>• Sistema de climatización y control de incendio;</li> <li>• Sistema de automatización y monitoreo (EMS).</li> </ul>
Características técnicas	<p>Input: Voltaje Nominal DC: 720V-980V</p> <p style="text-align: center;">Max. Corriente de carga: 83-2,500A</p>

	<p>Max. Corriente de descarga: 85-2,500A</p> <p>Output: Voltaje Nominal: 380V-550V</p> <p>Potencia nominal: 50kW-1.8MW</p> <p>Frecuencia: 50/60Hz</p> <p>Battery Bank:</p> <p>Ion-Litio (LFP)</p> <p>Capacidad nominal: desde 215kWh</p> <p>Profundidad de descarga: 100%</p> <p>Ciclos carga/descarga: arriba de 6,000</p>
Sistema de almacenamiento	TESLA
Características generales	Los Powerpack de TESLA alojan las baterías más sofisticadas del mundo. Cada Powerpack es un dispositivo de almacenamiento de energía CC que contiene 16 unidades de baterías individuales, un sistema de control térmico y cientos de sensores que monitorean e informan sobre el rendimiento de cada celda.[43]
Principales componentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversor bidireccional</li> <li>• Controlador del Powerpack</li> <li>• Software</li> <li>• Banco de baterías</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformador de potencia</li> <li>• Cuadros CC</li> <li>• Cuadros CA</li> </ul>
Características técnicas	<p>Output: Voltaje Nominal: 380V-480V</p> <p>Potencia nominal: 70 hasta 700kW</p> <p>Frecuencia:60Hz</p> <p>Battery Bank:</p> <p>Ion-Litio</p> <p>Potencia: Hasta 130kW por Powerpack</p> <p>Capacidad: Hasta 232kWh por Powerpack</p> <p>Profundidad de descarga: 100%</p>
Sistema de almacenamiento	PowerStar
Características generales	El sistema VIRTUE de la empresa de PowerStar es un sistema integrado que trabaja con un controlador de carga, un controlador general y por supuesto el sistema de almacenamiento de energía[44].

<p>Principales componentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrocentro especial para ESS;</li> <li>• Gabinetes de 25kWh</li> <li>• Contenedores de 500kWh</li> <li>• Banco de baterías;</li> <li>• Transformador de potencia;</li> <li>• Cuadros CC;</li> <li>• Cuadros CA;</li> <li>• Sistema de monitoreo.</li> </ul>
<p>Características técnicas</p>	<p>Input:</p> <p>Voltaje Nominal DC: 48V en gabinetes, 440V en contenedores.</p> <p>Battery Bank:</p> <p>Ion-Litio</p> <p>Capacidad nominal: 50kWh- 1MWh</p>

Tabla 6. Soluciones comerciales para sistemas de almacenamiento de energía con baterías

## **Capítulo 4 :ANTECEDENTES Y PERFIL DE CARGA DIARIA DEL SITIO DE ESTUDIO**

El presente capítulo se centra principalmente en obtener el perfil de carga de la colonia, nuestro caso de estudio. Generalmente, las curvas de demanda se obtienen mediante mediciones de energía y potencia realizadas a las cargas de interés, en la industria se utilizan mucho los analizadores de red para obtener dichos datos y poder obtener la curva de demanda. En el caso de estudio, se optó por utilizar un método analítico que determina de forma teórica, la demanda por hora de cargas residenciales, además que este método toma en cuenta la demanda diversificada de las cargas, es decir, analiza el hecho de que estadísticamente, los usuarios no consumen la misma cantidad de energía, aunque se analice a la misma hora y tengan la misma carga instalada, este factor influye mucho cuando se analiza una colonia residencial con un gran número de viviendas.

### **4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO DE ESTUDIO**

Como se menciona en el capítulo 1, el propósito del presente trabajo de grado es desarrollar un caso de estudio y definir una aplicación de sistema de almacenamiento de energía para una colonia cuyo servicio de energía eléctrica lo proporcione un comercializador. Bajo ese supuesto se ha configurado la distribución de una colonia tipo formada por 500 viviendas, en la que se ha definido dos modelos de vivienda a ser estudiados para obtener la curva de demanda de la colonia.

#### **4.1.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA COLONIA**

La colonia Whittingham, fue nombrada en honor al químico británico-estadounidense Stanley Whittingham, ganador del premio nobel de química en 2019, por sus aportaciones al desarrollo de las baterías de ion-litio.

La colonia está ubicada en el departamento de San Salvador, en el municipio de Guazapa (13°55'38.3"N 89°11'21.9"W) y colindando con el municipio de Aguilares a una distancia de 1.39 Km aproximadamente, el acceso a dicha colonia tendrá como calle principal la carretera troncal del norte. La ubicación exacta obedece a las coordenadas 13.9272923W y -89.1894103N.

#### 4.1.2 DEFINICIÓN DE LOS MODELOS DE VIVIENDA

Se han establecido dos modelos de vivienda a ser introducidos en el método, esto con el fin de tener una percepción más realista de la demanda que exige la colonia. Los modelos de vivienda se pueden llamar también como vivienda de bajo consumo a la cual llamaremos Vivienda tipo A y vivienda de consumo medio a la que llamaremos Vivienda tipo B.

Los modelos de vivienda se construyeron tomando en cuenta la tabla siguiente, donde se especifica la demanda de potencia máxima según el grado de electrificación de la vivienda.

<b>Demanda de potencia máxima según grado de electrificación de la vivienda</b>	
<b>Grado de electrificación</b>	<b>Demanda de potencia máxima</b>
Mínimo	Hasta 3.7kVA
Medio	Hasta 7kVA
Elevado	Hasta 10kVA
Superior	Mayor a 10kVA

*Tabla 7. Demanda de potencia máxima elaborada con la ayuda de la herramienta de cálculo de potencia [45].*

**Vivienda tipo A:** Se considera la vivienda tipo A con un bajo grado de electrificación, teniendo como elementos de carga: Iluminación y tomas de corriente y refrigerador. El área estimada del techo de la vivienda tipo A es de 150m<sup>2</sup>.

**Vivienda tipo B:** Se considera la vivienda tipo B con un grado medio de electrificación, teniendo como elementos de carga: Iluminación y tomas de corriente, refrigerador y estufa eléctrica. El área estimada del techo de la vivienda tipo A es de 200m<sup>2</sup>.

#### 4.1.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS VIVIENDAS EN EL CAMPO RESIDENCIAL

En el plano de la figura 53, se muestra la distribución de las 500 viviendas en la colonia Wittingham. los rectángulos de color azul denotan viviendas tipo B y los rectángulos de color rojo denotan las viviendas de tipo A.

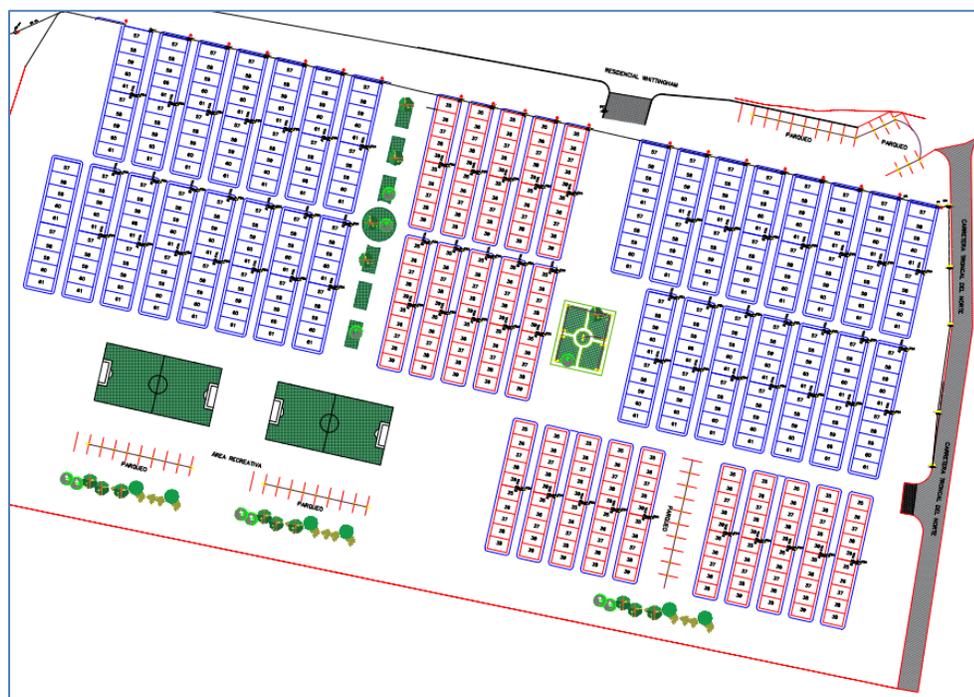


Figura 53. Plano de distribución de las viviendas en la residencia

## 4.2 CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA CURVA DE DEMANDA DE LA COLONIA

Antes de realizar la definición de los modelos de vivienda que utilizaremos para el análisis mediante el método Arvidson, vamos a conocer la terminología empleada a la hora de evaluar la demanda de potencia y a definir algunos conceptos relacionados con el método Arvidson.

### 4.2.1 CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA

**Demanda:** es la potencia requerida por el consumidor en un instante dado.

**Demanda Promedio:** es la relación que hay entre el consumo de energía en KW-h en un intervalo y ese mismo intervalo.

**Demanda diversificada o coincidente:** es la suma de las demandas de varios usuarios en un momento determinado, considerando el mismo intervalo de tiempo.

**Demanda máxima diversificada:** es el máximo valor de la demanda diversificada.

**Demanda máxima no coincidente:** es la suma de las demandas máximas individuales sin importar que ocurran o no al mismo tiempo.

**Carga Instalada:** es la suma de todas las potencias nominales continuas de los aparatos de consumo conectados a un sistema o a parte de él. Se expresa generalmente en VA.

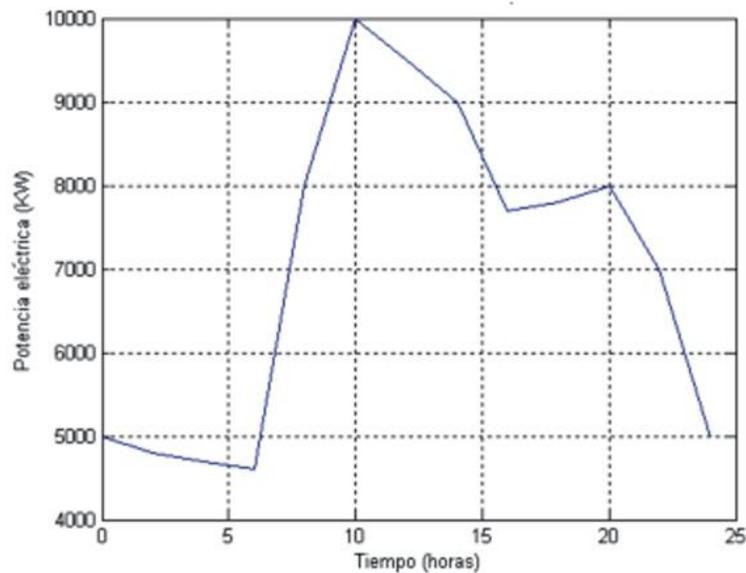
**Curva de Carga:** es el gráfico que indica la demanda de potencia, de un consumidor en cada instante de tiempo, durante un periodo. Muestra mediciones continuas o discretas.

**Diversidad de carga:** es la diferencia que hay entre la suma de demandas máximas no coincidentes con la demanda máxima coincidente. Muestra que tan diferente es el comportamiento entre los usuarios.

**Factor de diversidad:** mide cuán grande es la demanda máxima individual por usuario con respecto a su contribución a la demanda máxima del grupo.

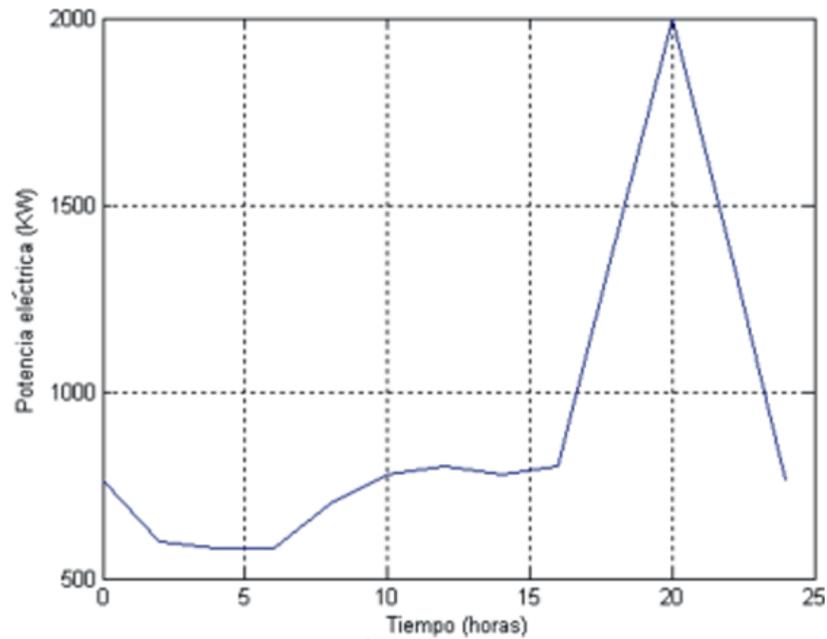
#### 4.2.2 CURVAS DE DEMANDA TÍPICAS SEGÚN EL TIPO DE CARGAS

Las cargas instaladas en la instalación eléctrica definirán el comportamiento de la curva de demanda, las cargas conectadas en una instalación residencial o en una instalación industrial no son las mismas, adicional a esto los tiempos de uso de las cargas no son iguales, es por eso que existen curvas típicas para áreas residenciales y para áreas industriales.



*Figura 54. Curva de demanda típica para cargas industriales. Fuente: [46]*

La demanda industrial no sigue un patrón, mientras que la demanda residencial usualmente tiene unos picos de demanda en horas de la mañana 7am y en horas de la noche 7pm.



*Figura 55. Curva de demanda típica para cargas residenciales. Fuente: [46]*

La siguiente figura se muestra el comportamiento típico de las cargas de alumbrado público, esta curva se caracteriza por ser un escalón, ya que idealmente mantiene una demanda cero en horas del día y una máxima demanda en horas de la noche.



*Figura 56. Curva de demanda típica para cargas de alumbrado público.*

El comportamiento de la curva de demanda depende de muchos factores, el tipo de carga conectada, la intensidad de uso de las cargas, incluso temporada, es decir, si es verano o invierno, sin embargo, las curvas típicas de demanda típicas nos dan una idea del comportamiento de la curva que se obtiene mediante el método.

### **4.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ARDVINSON**

#### **4.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ARVIDSON**

El método de Arvidson se utiliza para estimar analíticamente las cargas de los transformadores de distribución en áreas residenciales por el método de demanda diversificada el cual tiene en cuenta la diversidad entre cargas similares y la no coincidencia de los picos de diferentes tipos de cargas. Para tener en cuenta la no coincidencia de los picos de los diferentes tipos de carga, se introdujo el factor de variación horaria, definido como la variación entre la

demanda de un tipo particular de carga coincidente, con la demanda máxima de un grupo y la demanda máxima de este tipo en particular de carga.

Aunque este metodo fue diseñado para el dimensionamiento de transformadores, se puede utilizar perfectamente para obtener curvas de demandas de las residencias o colonias, con aplicación en el diseño solar fotovoltaico.

Hora	Iluminación y tomas misceláneas	Refrigerador	Congelador	Estufa	Aire Acondicionado *	Bomba de calor		Calentador de agua †				
						Invierno	Verano	Calefacción de vivienda *	OPHW ‡		elementos no controlados	secadora de ropa
									ambos elementos restringidos	solo bajo elementos restringidos		
12AM.	0.32	0.93	0.92	0.02	0.40	0.42	0.34	0.11	0.41	0.61	0.51	0.03
1	0.12	0.89	0.90	0.01	0.39	0.35	0.49	0.07	0.33	0.46	0.37	0.02
2	0.10	0.80	0.87	0.01	0.36	0.35	0.51	0.09	0.25	0.34	0.30	0.00
3	0.09	0.76	0.85	0.01	0.35	0.28	0.54	0.08	0.17	0.24	0.22	0.00
4	0.08	0.79	0.82	0.01	0.35	0.28	0.57	0.13	0.13	0.19	0.15	0.00
5	0.10	0.72	0.84	0.02	0.33	0.26	0.63	0.15	0.13	0.19	0.14	0.00
6	0.19	0.75	0.85	0.05	0.30	0.26	0.74	0.17	0.17	0.24	0.16	0.00
7	0.41	0.75	0.85	0.30	0.41	0.35	1.00	0.76	0.27	0.37	0.46	0.00
8	0.35	0.79	0.86	0.47	0.53	0.49	0.91	1.00	0.47	0.65	0.70	0.08
9	0.31	0.79	0.86	0.28	0.62	0.57	0.83	0.97	0.63	0.87	1.00	0.20
10	0.31	0.79	0.87	0.22	0.72	0.70	0.74	0.68	0.67	0.93	1.00	0.65
11	0.30	0.85	0.90	0.22	0.74	0.73	0.60	0.57	0.67	0.93	0.99	1.00
12 M	0.28	0.85	0.92	0.33	0.80	0.84	0.57	0.55	0.67	0.93	0.99	1.00
1	0.26	0.87	0.96	0.25	0.86	0.88	0.49	0.51	0.61	0.85	0.86	0.70
2	0.29	0.90	0.98	0.16	0.89	0.95	0.46	0.49	0.55	0.76	0.82	0.65
3	0.30	0.90	0.99	0.17	0.96	1.00	0.40	0.48	0.49	0.68	0.81	0.63
4	0.32	0.90	1.00	0.24	0.97	1.00	0.43	0.44	0.33	0.46	0.79	0.38
5	0.70	0.90	1.00	0.80	0.99	1.00	0.49	0.88	0.00	0.09	0.75	0.30
6	0.92	0.90	0.99	1.00	1.00	1.00	0.49	0.88	0.00	0.13	0.75	0.22
7	1.00	0.95	0.98	0.30	0.91	0.88	0.51	0.76	0.00	0.19	0.80	0.26
8	0.95	0.95	0.97	0.12	0.79	0.73	0.60	0.54	1.00	1.00	0.81	0.20
9	0.85	0.95	0.97	0.09	0.71	0.72	0.54	0.42	0.84	0.98	0.73	0.18
10	0.72	0.88	0.96	0.05	0.64	0.53	0.51	0.27	0.67	0.77	0.67	0.10
11	0.50	0.88	0.95	0.04	0.55	0.49	0.34	0.23	0.54	0.69	0.59	0.04
12:00 p. m.	0.32	0.93	0.92	0.02	0.04	0.42	0.34	0.11	0.44	0.61	0.61	0.30

- \* El ciclo de carga y la demanda diversificada máxima dependen de la temperatura exterior, del tipo de aislamiento y construcción de la vivienda
- † El ciclo de carga y la demanda diversificada máxima depende del tamaño del tanque, la capacidad nominal del elemento de calor (los valores mostrados aplican a tanque de 52 galones y elementos de 1000 y 1500kW).
- ‡ El ciclo de carga depende de la programación de la restricción de elementos.
- § El factor de variación horaria depende de los hábitos de vida individuales en un área en particular

Tabla 8. Factores de variación horaria para varios tipos de electrodomésticos. Fuente:

[47]

En el siguiente gráfico se ilustran las curvas de varios tipos de electrodomésticos para determinar la demanda máxima diversificada promedio por consumidor en kW/carga.

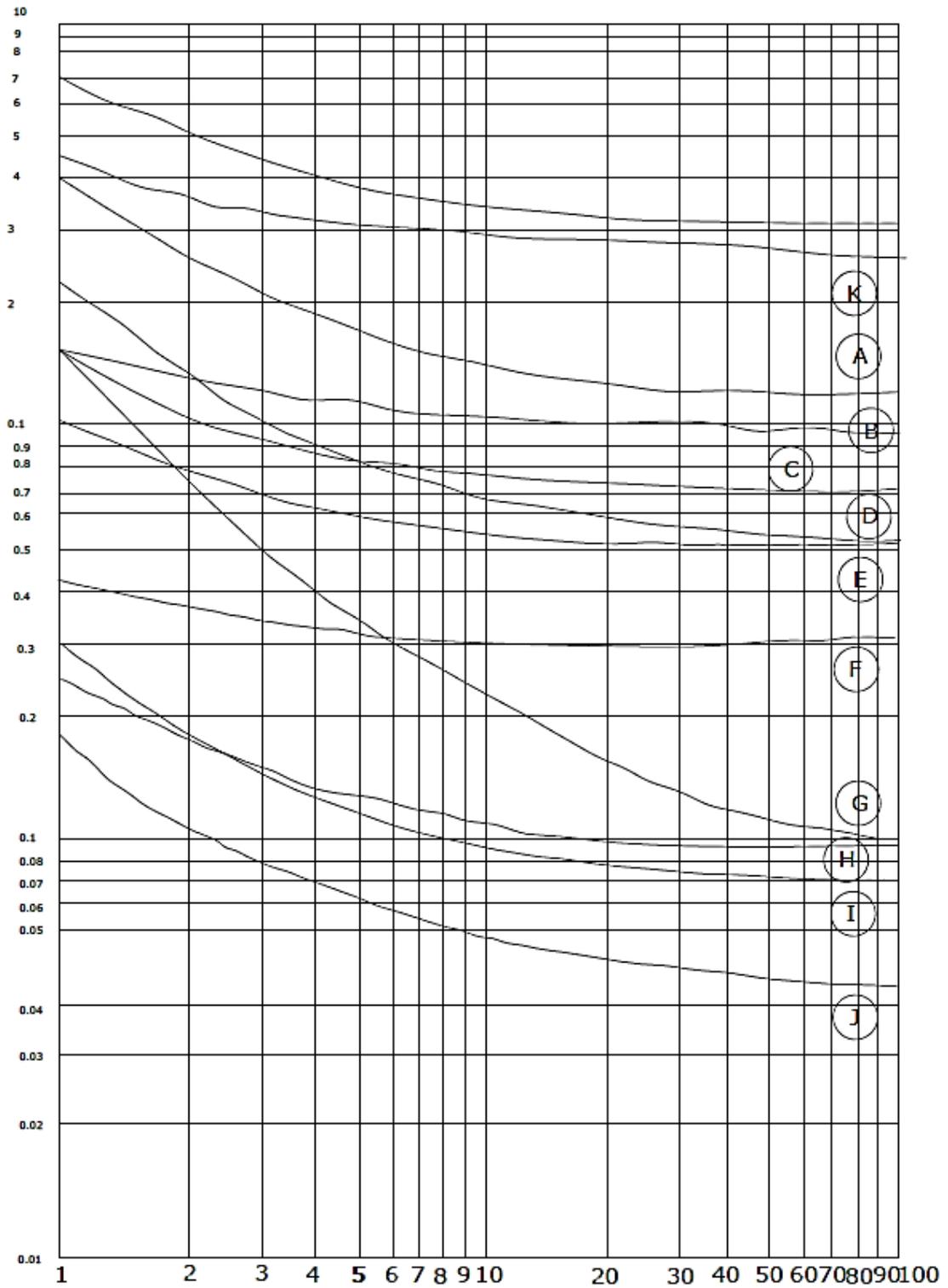


Gráfico 1. Demanda máxima diversificada 30 minutos KW/casa, para varios tipos de carga residencial. Fuente: [47]

En el grafico 1 se observan las curvas corresponden a los siguientes electrodomésticos:

CURVA	TIPO DE CARGA
A	Secador de ropa
B	Calentador de agua (fuera de pico)
C	Calentador de agua (elemento no controlado)
D	Estufa
E	Iluminación y tomas varios
F	Enfriadores 0.5HP
G	Calentador de agua (en pico)
H	Quemador de aceite
I	Congelador
J	Refrigerador-neveras
K	Aire acondicionado central
L	Calefacción de vivienda

*Tabla 9. Identificación de las curvas de demanda máxima diversificada, según la letra correspondiente. Fuente: [47]*

El método de Arvidson para determinar la demanda máxima diversificada, se aplica de la siguiente manera:

- Determine el # total de electrodomésticos y multiplicar el total de usuarios x valor de saturación en PU
- Leer la demanda diversificada por consumidor en la curva, para el # dado de electrodomésticos
- Determinar la demanda máxima multiplicando la demanda x # total de electrodomésticos
- Determinar la contribución de este tipo de carga a la demanda máxima del grupo, multiplicando el valor resultante por el correspondiente factor de variación horaria encontrado en la tabla

Para los calentadores la tabla considera tanques de 52 galones y elementos de 1000 a 1500W. El factor de variación horaria depende de los hábitos de vida individuales en un área en particular. Fuente: [47]

Después de realizar este procedimiento se obtienen los valores de la demanda diversificada por usuario para diferentes grupos de usuarios. La curva resultante muestra el nivel de saturación al cual llegan los grupos de usuarios, es decir, el valor a partir del cual cada usuario consume lo mismo sin importar el número de usuarios que se presenten en el grupo.

#### 4.3.2 METODOLOGIAS PARA LA APLICACIÓN DEL METODO ARVIDSON

##### ➤ **Metodología número 1**

Ya que el método de Arvidson, solo permite el análisis hasta 100 usuarios y la colonia tiene 200 viviendas tipo A y 300 viviendas tipo B, se aplica el método a las primeras 100 viviendas de

cada modelo y posteriormente se multiplica por el factor correspondiente para totalizar las 200 viviendas tipo A y las 300 viviendas tipo B. Luego se suman los dos resultados y se obtiene la demanda total de la colonia, cuyos datos horarios dan origen a la curva de demanda diaria.

Para aplicar esta primera metodología se toman en cuenta algunas consideraciones:

1. Como se está analizando dos modelos de vivienda, el método de Arvidson se aplica para cada modelo de vivienda y posteriormente se suman sus resultados para conocer la demanda diversificada total de la colonia.
2. Se optó por usar un factor de variación horaria unitario para las horas de uso del alumbrado público y para estimar el factor de demanda máxima diversificada se tomó un valor constante que es igual a la potencia nominal de una luminaria, ya que la demanda en alumbrado público no depende de la cantidad de usuarios. Esto debido a que el método de Arvidson no posee factores de variación horaria ni curvas de factor de demanda máxima diversificada para aplicarse en las cargas de alumbrado exterior.
3. Se han considerado en el análisis un total de 150 luminarias

Aplicar el método de Arvidson al total de viviendas de la colonia.

- **Aplicación de la metodología**

Utilizando las curvas de demanda máxima diversificada 30 minutos, se obtiene el factor de demanda máxima diversificada para 100 usuarios y así obtener los factores de demanda máxima diversificada para viviendas tipo A y viviendas tipo B.

**Factores de demanda máxima  
diversificada para 100 usuarios (vivienda tipo A y  
tipo B)**

Iluminación y tomas	0.51
Refrigerador	0.043
Estufa	0.52

*Tabla 10. Factores de demanda máxima diversificada para 100 usuarios (vivienda tipo A y tipo B)*

Con el factor de demanda diversificada para cada modelo de casa y la tabla de factor de variación horaria, se calculan las contribuciones de cada carga a la demanda diversificada total horaria total.

Ejemplo de obtención de la demanda diversificada por hora para viviendas tipo A y las cargas de alumbrado público (por cada 100 viviendas hay 30 luminarias):

***Demanda diversificada por hora** = Factor de demanda máxima diversificada \* Factor de variación horaria \*#casas*

Ejemplo: Para las 00:00 (viviendas tipo A):

$$\text{Luces y tomas} = 0.51 * 0.32 * 100 = \mathbf{16.32kW}$$

$$\text{Refrigerador: } 0.044 * 0.93 * 100 = \mathbf{4.0kW}$$

$$\text{Alumbrado publico} = 1.0 * 0.1 * 30 = \mathbf{3kW}$$

Se procede de igual manera y para el resto de las horas del día, hasta obtener la demanda diversificada por tipo de casa, luego la sumatoria de la demanda diversificada de las viviendas tipo A y viviendas tipo B, más las cargas de alumbrado público nos darán como resultado la demanda diversificada total. Los resultados se muestran en la tabla 11.

DEMANDA DIVERSIFICADA TOTAL HORARIA DEL CONJUNTO (500 VIVIENDAS)									
Hora	CASA TIPO A		CASA TIPO B			DEMANDA TOTAL ALUMBRADO PUBLICO	DEMANDA TOTAL 200 CASAS TIPO A	DEMANDA TOTAL 300 CASAS TIPO B	DEMANDA TOTAL 500 CASAS
	Iluminación y tomas	Refrigerador	Iluminación y tomas	Refrigerador	Estufa	Total horaria [kW]	Total horaria [kW]	Total horaria [kW]	Total horaria [kW]
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]				
0 A.M	16.32	4.00	16.32	4.00	1.04	15.00	40.64	64.08	119.72
1 A.M	6.12	3.83	6.12	3.83	0.52	15.00	19.89	31.40	66.30
2 A.M	5.10	3.44	5.10	3.44	0.52	15.00	17.08	27.18	59.26
3 A.M	4.59	3.27	4.59	3.27	0.52	15.00	15.72	25.13	55.85
4 A.M	4.08	3.40	4.08	3.40	0.52	15.00	14.95	23.99	53.95
5 A.M	5.10	3.10	5.10	3.10	1.04	15.00	16.39	27.71	59.10
6 A.M	9.69	3.23	9.69	3.23	2.60	0.00	25.83	46.55	72.38
7 A.M	20.91	3.23	20.91	3.23	15.60	0.00	48.27	119.21	167.48
8 A.M	17.85	3.40	17.85	3.40	24.44	0.00	42.49	137.06	179.56
9 A.M	15.81	3.40	15.81	3.40	14.56	0.00	38.41	101.30	139.72
10 A.M	15.81	3.40	15.81	3.40	11.44	0.00	38.41	91.94	130.36
11 A.M	15.30	3.66	15.30	3.66	11.44	0.00	37.91	91.19	129.10
12 M.D	14.28	3.66	14.28	3.66	17.16	0.00	35.87	105.29	141.16
1 P.M	13.26	3.74	13.26	3.74	13.00	0.00	34.00	90.00	124.01
2 P.M	14.79	3.87	14.79	3.87	8.32	0.00	37.32	80.94	118.26
3 P.M	15.30	3.87	15.30	3.87	8.84	0.00	38.34	84.03	122.37
4 P.M	16.32	3.87	16.32	3.87	12.48	0.00	40.38	98.01	138.39
5 P.M	35.70	3.87	35.70	3.87	41.60	0.00	79.14	243.51	322.65
6 P.M.	46.92	3.87	46.92	3.87	52.00	15.00	101.58	308.37	424.95
7 P.M	51.00	4.09	51.00	4.09	15.60	15.00	110.17	212.06	337.23
8 P.M	48.45	4.30	48.45	4.30	6.24	15.00	105.50	176.97	297.47
9 P.M	43.35	4.09	43.35	4.09	4.68	15.00	94.87	156.35	266.22
10 P.M	36.72	3.78	36.72	3.78	2.60	15.00	81.01	129.31	225.32
11 P.M	25.50	3.78	25.50	3.78	2.08	15.00	58.57	94.09	167.66

*Tabla 11. Demanda diversificada total horaria de la colonia (500 viviendas, 200 viviendas tipo A y 300 viviendas tipo B)*

- Resultados:**

La curva de demanda total de la colonia se obtiene graficando la demanda diversificada total horaria de la tabla 11.

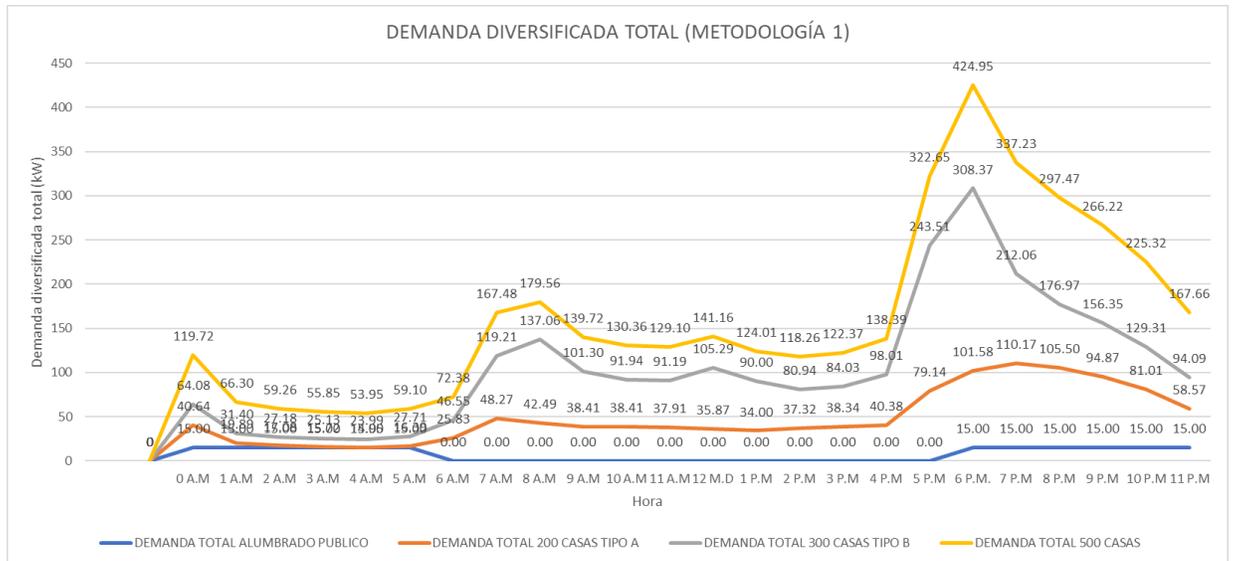


Gráfico 2: Curva de demanda diversificada global (500 viviendas). Metodología número

1.

➤ **Metodología número 2**

Aplicar el método de Arvidson para determinar el factor de demanda máxima diversificada promedio, en kW/Usuarios, para 500 viviendas.

**Aplicación de la metodología 2**

El factor de saturación de la demanda o demanda diversificada promedio se obtiene aplicando el método de Arvidson desde 1 casa hasta n casas, de esta forma se determina la demanda diversificada promedio para una casa y a medida se vaya aumentando el número de casas, el valor de demanda promedio se va a reducir, esto debido a que el método considera el factor de diversidad de las cargas, es decir, si se tienen 20 viviendas conectadas a un mismo alimentador, esto no asegura que las 20 viviendas tienen la misma demanda a la misma hora del día y entre mayor sea el número de viviendas conectadas al alimentador, el factor de variación será también mayor.

En la tabla siguiente se puede observar que una vivienda tipo A, tiene una demanda diversificada promedio de 1.265kW a las 06:00pm, mientras que una sola vivienda tipo B tiene una demanda de 3.565kW a la misma hora, a medida aumentamos el número de usuarios conectados al mismo alimentador, se observa que la demanda promedio por casa disminuye hasta un punto de saturación de 0.5987kW y 1.1187kW para una la vivienda tipo A y una vivienda tipo B, respectivamente. El factor de saturación o la demanda diversificada promedio indica que no importa cuantas viviendas estén conectadas en el alimentador, la demanda por vivienda se mantendrá constante después de haber alcanzado este punto. Este concepto se puede observar en los siguientes gráficos, en donde se muestra el valor de la demanda diversificada promedio por vivienda.

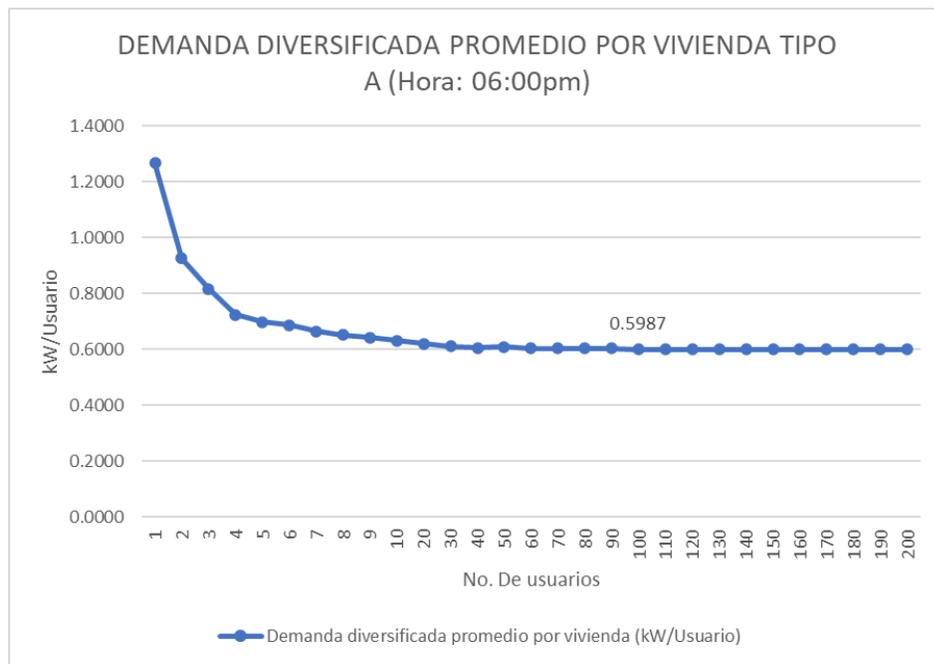


Gráfico 3. Demanda diversificada promedio por vivienda (modelo tipo A, a las 06:00pm)

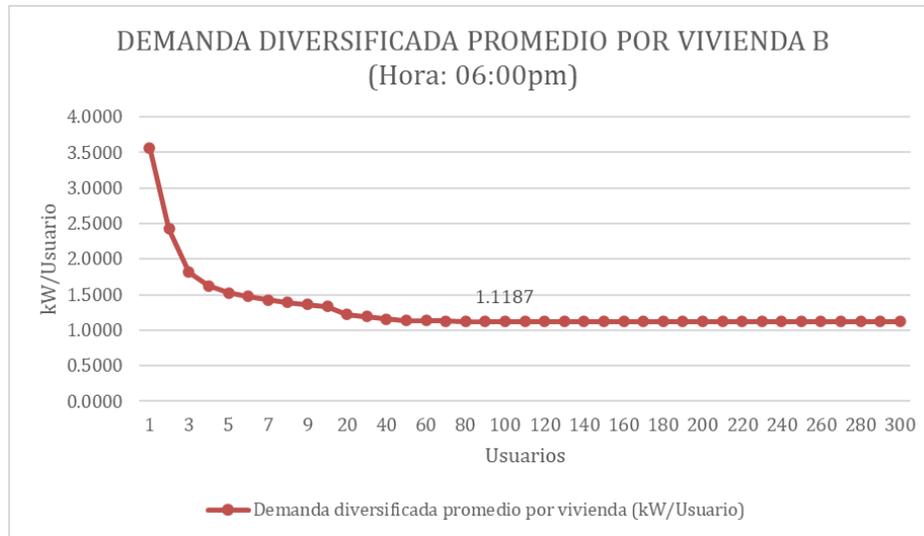


Gráfico 4. Demanda diversificada promedio por vivienda (modelo tipo A, a las 06:00pm)

Se obtiene el factor de demanda diversificada promedio para cada hora del día, una vez obtenidos estos valores, se multiplica por el número de viviendas de cada modelo de vivienda para obtener la curva de demanda diaria de la colonia, ya que sin importar si son 100 o 500 viviendas, en promedio cada vivienda consume el valor de saturación obtenido por hora.

DEMANDA DIVERSIFICADA TOTAL HORARIA DEL CONJUNTO (500 VIVIENDAS)							
Hora	1 Vivienda tipo A		1 Vivienda tipo B		200 Vivienda tipo A	300 Vivienda tipo B	Global
	kW/Usuario Total	F div	kW/Usuario Total	F div	kW/Usuario	kW/Usuario	kW/Usuario Total
00:00	0.2994	2.0379	0.3098	2.1180	59.88	92.93	152.81
01:00	0.1975	1.9408	0.2027	2.0044	39.50	60.81	100.31
02:00	0.1837	1.8835	0.1889	1.9534	36.74	56.67	93.41
03:00	0.1770	1.8541	0.1822	1.9274	35.40	54.66	90.07
04:00	0.1733	1.8602	0.1785	1.9349	34.65	53.54	88.19
05:00	0.1803	1.8432	0.1907	1.9839	36.07	57.22	93.29
06:00	0.1267	2.6561	0.1527	2.9570	25.34	45.81	71.15
07:00	0.2369	2.4419	0.3929	3.2285	47.38	117.87	165.26
08:00	0.2085	2.4903	0.4529	3.5332	41.71	135.88	177.59
09:00	0.1885	2.5216	0.3341	3.3503	37.70	100.23	137.93
10:00	0.1885	2.5216	0.3029	3.2398	37.70	90.87	128.57
11:00	0.1860	2.5511	0.3004	3.2640	37.20	90.12	127.32
12:00	0.1760	2.5713	0.3476	3.4855	35.20	104.27	139.47
13:00	0.1668	2.6013	0.2968	3.3993	33.36	89.04	122.40
14:00	0.1831	2.5780	0.2663	3.1545	36.62	79.89	116.51
15:00	0.1881	2.5678	0.2765	3.1609	37.62	82.95	120.57
16:00	0.1981	2.5490	0.3229	3.2733	39.62	96.88	136.50
17:00	0.3885	2.3758	0.8045	3.4344	77.70	241.35	319.05
18:00	0.5987	2.1128	1.1187	3.1867	119.74	335.62	455.36
19:00	0.6409	2.1244	0.7969	2.5744	128.18	239.07	367.25
20:00	0.6180	2.1280	0.6804	2.3385	123.59	204.11	327.70
21:00	0.5658	2.1149	0.6126	2.2912	113.15	183.77	296.92
22:00	0.4977	2.0929	0.5237	2.2086	99.54	157.10	256.64
23:00	0.3875	2.0637	0.4083	2.1839	77.49	122.48	199.97

*Tabla 12. Demanda diversificada total horaria por transformador. Metodología 3.*

### **Resultados:**

La curva de demanda de la colonia se obtiene graficando los datos de demanda diversificada promedio de la tabla 12.

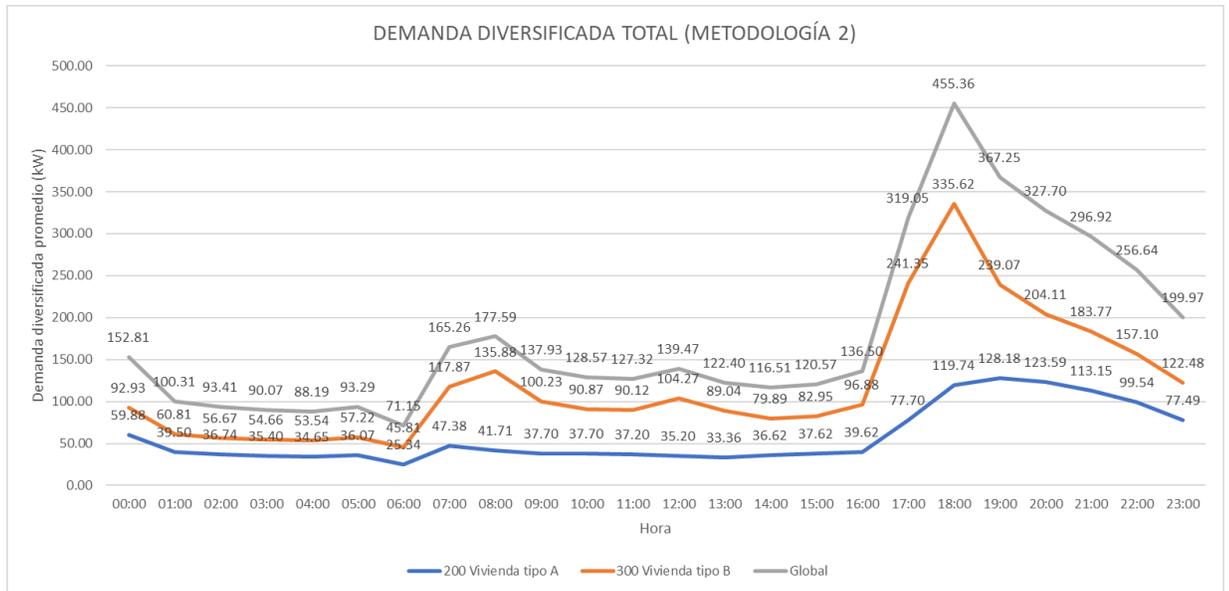


Gráfico 5: Curva de demanda diversificada global (500 viviendas). Metodología número

1.

#### 4.3.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL

Como se observa en los gráficos 3 y 4, en la hora que se produce el pico de demanda (06:00pm), la demanda diversificada promedio (los kW/usuarios) se mantienen constantes después de la vivienda número 100, con un valor aproximadamente de 0.1987kW para las viviendas tipo A, y 1.1187kW para las viviendas tipo B. Esto indica que a media aumentamos el número de casas tipo B la demanda por casa no va a variar demasiado respecto a ese valor.

- **Cálculo del alimentador principal.**

El alimentador principal se calcula en base a las demandas diversificadas promedio máxime de cada tipo de vivienda multiplicada por su correspondiente número de usuarios. La ecuación es la siguiente:

$$Demanda\ div.\ total = No.\ Usuarios\ A * Demanda\ maxima\ diversificada\ A$$

+

$$No.\ Usuario\ B * Demanda\ maxima\ diversificada\ B$$

$$Demanda\ div.\ total = 200 * 0.5987kW + 300 * 1.1187kW = \mathbf{455.35kW}$$

Considerando un factor de cubrimiento del 25%, se coloca una capacidad de **570kW**

#### 4.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Se han desarrollado 2 metodologías para la aplicación del método de Arvidson, esto con el fin de obtener resultados confiables y válidos. A continuación, se presenta un resumen de las potencias máximas obtenidas en las cuatro metodologías aplicadas. Se muestran los datos del punto de máxima demanda global.

Punto de demanda máxima para las distintas metodologías	
Metodología	Demanda máxima global colonia
1	424.95 kW
2	<b>455.36 kW</b>

*Tabla 13. Resumen de resultados de las metodologías aplicadas para el método de Arvidson.*

De la metodología 1, se obtienen datos bastante buenos, sin embargo, el análisis se realiza para bloques de 100 viviendas a la vez, y no se contempla la variación de demanda que pudiera existir en un conjunto de 500 viviendas, en esta metodología se asume que las 500 viviendas se comportan igual como si se tuvieran 100.

La metodología 2 logra determinar el factor de saturación de la demanda individual de cada vivienda dentro del conjunto, este factor es el valor de la demanda en kW que cada usuario demanda dentro del conjunto, en este caso una vez obtenido este valor de saturación, se garantiza que después de cierta cantidad de usuarios conectados al mismo alimentador, la demanda promedio por cada vivienda dentro del conjunto, no va a variar.

## Capítulo 5 : PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

El objetivo principal del presente capítulo es proponer y desarrollar alternativas de diseño para el sistema fotovoltaico y el sistema de almacenamiento, tomando en cuenta la energía diaria consumida y el potencial de generación fotovoltaica disponible en el sitio.

### 5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO

La colonia está ubicada en el departamento de San Salvador, en el municipio de Guazapa ( $13^{\circ}55'38.3''N$   $89^{\circ}11'21.9''W$ ) y colindando con el municipio de Aguilares a una distancia de 1.39 Km aproximadamente, el acceso a dicha residencial tendrá como calle principal la carretera troncal del norte. La ubicación exacta obedece a las coordenadas  $13.9272923W$  y  $-89.1894103N$ .



*Figura 57. Vista 3D de la ubicación del sitio*

## 5.2 PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO FOTOVOLTAICO

Antes de realizar el dimensionamiento o las simulaciones del sistema de generación fotovoltaico, se debe definir los parámetros generales que se utilizan tanto en el dimensionamiento extendido como en las simulaciones.

### 5.2.1 RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

La temperatura es un factor muy importante a tomar en cuenta a la hora del diseño de un SFV, ya que afecta directamente a la potencia que los MFV pueden generar, pues entre más alta sea la temperatura menor será la potencia generada por los MFV. Es por eso que se debe diseñar conociendo los valores de temperatura mínimas y máximas del sitio donde se pretende instalar los MFV. Con dichos valores podemos estimar el rango de temperatura en que puede trabajar un MFV sin sufrir mayores pérdidas por el efecto de la temperatura.

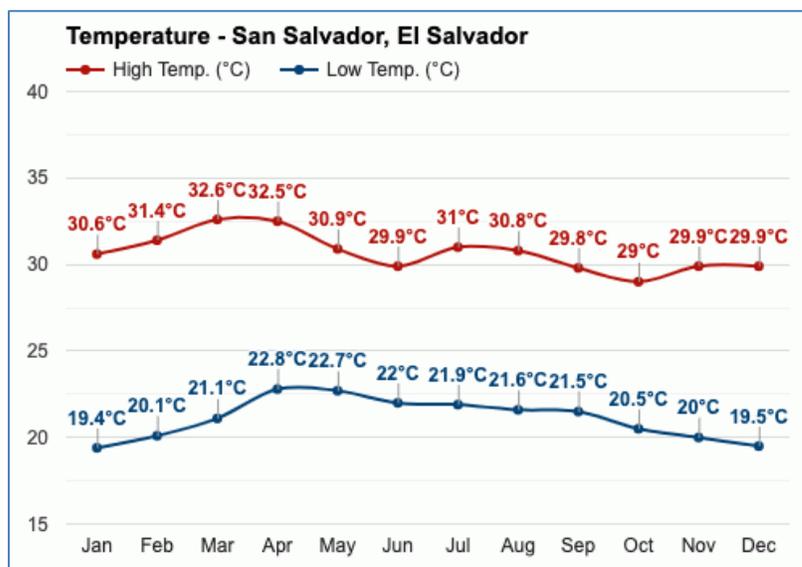


Figura 58. Temperatura máxima y mínima promedio diaria a lo largo del año en El Salvador. Publicación de WeatherSpark.

El mes con el promedio de temperatura baja más alto es marzo(32.6°C). El mes más frío (con el promedio de temperatura baja más bajo) es enero(19.4°C).

Históricamente en El Salvador se han registrado mediante las estaciones meteorológicas del MARN [48], temperaturas máximas de 42.7°C y mínimas abajo de 5°C. [49]

En base a los datos históricos y para tener un margen de cubrimiento en cuanto a las temperaturas que pueden ocurrir en El Salvador, se elige un rango de temperatura ambiente de 5°C mínimo y 45°C máximo.

## **5.2.2 MÓDULO FOTOVOLTAICO PARA EL DISEÑO**

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se usa el módulo JKM555-575N-72HL4-(V) de la marca Jinko Solar. El módulo fotovoltaico es un elemento muy confiable dentro de la instalación solar, por lo que bastaría elegir un modelo de cualquier marca reconocida en el mercado, sin embargo, se ha tomado en cuenta ciertos criterios para la elección de este modelo.

- Su alta potencia, ya que es un módulo de 575W.
- Su baja tasa de degradación anual, ya que según hoja técnica es mucho menor que otros módulos en el mercado.
- Su bajo porcentaje de LID.



*Figura 59. Módulo fotovoltaico modelo JKM555-575N-72HL4-(V) de la marca Jinko Solar*

### **5.2.3 ELECCIÓN DEL INVERSOR PARA EL DISEÑO**

El inversor es el elemento más importante en la instalación fotovoltaica, por lo que es de suma importancia saber elegir un modelo que garantice la confiabilidad de la instalación, Para el diseño de la planta fotovoltaica, se elige el modelo (75-100) K-5G-US de la marca Solís.



*Figura 60. Inversor el modelo (75-100) K-5G-US de la marca Solís.*

## 5.2.4 DATOS DE POTENCIA Y ENERGÍA UTILIZADOS PARA EL DISEÑO.

En el análisis de la sesión 4.4, se definió que los datos de potencia y energía demandadas por la colonia que se usan para el diseño de los sistemas fotovoltaicos, se toman los datos de la metodología 2 de la aplicación del método de Arvidson, dichos resultados se presentan de forma resumida en la siguiente tabla.

<b>DEMANDA DIVERSIFICADA TOTAL HORARIA</b>			
<b>Hora</b>	<b>Demanda diversificada viviendas Tipo A</b>	<b>Demanda diversificada viviendas Tipo B</b>	<b>Demanda diversificada Total</b>
0 a.m	59.88	92.93	152.81
1 a.m	39.50	60.81	100.31
2 a.m	36.74	56.67	93.41
3 a.m	35.40	54.66	90.07
4 a.m	34.65	53.54	88.19
5 a.m	36.07	57.22	93.29
6 a.m	25.34	45.81	71.15
7 a.m	47.38	117.87	165.26
8 a.m	41.71	135.88	177.59
9 a.m	37.70	100.23	137.93
10 a.m	37.70	90.87	128.57
11 a.m	37.20	90.12	127.32
12 m.d	35.20	104.27	139.47
1 p.m	33.36	89.04	122.40
2 p.m	36.62	79.89	116.51
3 p.m	37.62	82.95	120.57
4 p.m	39.62	96.88	136.50
5 p.m	77.70	241.35	319.05
<b>6 p.m</b>	119.74	335.62	455.36
7 p.m	128.18	239.07	367.25
8 p.m	123.59	204.11	327.70
9 p.m	113.15	183.77	296.92
10 p.m	99.54	157.10	256.64
11 p.m	77.49	122.48	199.97

*Tabla 14. Demanda diariaglobal de la colonia. Metodología 2.*

### 5.3 ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL SITIO

La capacidad de generación fotovoltaica de un sitio depende de muchos factores, entre ellos se encuentran, el clima, la posición geográfica, altura sobre el nivel del mar, entre otras. En el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, es importante para los contratistas y los proyectistas conocer la capacidad de generación en el sitio del proyecto ya que en base a los resultados de las simulaciones realiza las proyecciones de generación de energía. Por esta razón es necesario aplicar los parámetros necesarios para que las simulaciones se acerquen más a un escenario real que a un escenario ideal.

Las simulaciones se realizan con el software de simulación de sistemas fotovoltaicos PVSst. A continuación, se presenta un resumen general sobre los parámetros el proceso realizado para realizar la simulación.

#### 5.3.1 PROCESO DE SIMULACIÓN EN PVSYST

Se desarrolla un modelo en el simulador PVSyst, del cual podemos obtener el dimensionamiento del sistema y estimar la energía producida por este, mensualmente, estos resultados se analizan en el capítulo 6, en donde se realiza un estudio del ahorro de energía que produce el sistema diseñado.

##### **A. Creación del proyecto y elección de base de datos meteorológicos**

Se escoge la opción de sistema fotovoltaico conectado a la red, se coloca el nombre del proyecto y se procede a elegir la base de datos meteorológicos. Es recomendable utilizar bases de datos meteorológicos no tan precisas, para evitar que la simulación nos de datos de generación muy optimistas, entonces se escoge la base de datos de meteonorm.



Figura 61. Creación del proyecto y elección de la base de datos meteorológicas.

## B. Orientación de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos deben ser orientados hacia el sur a  $0^\circ$  y con una inclinación igual a la latitud del sitio en el que se ubica el proyecto, en el caso de El Salvador se toma este parámetro como  $13^\circ$ .

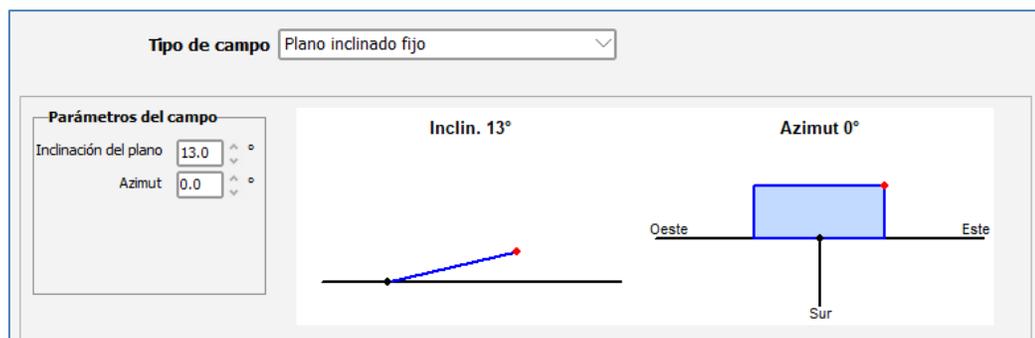


Figura 62. Definición de la orientación de los módulos fotovoltaicos

## C. Elección del módulo fotovoltaico e inversor solar

En las librerías de PVSyst se encuentran la mayoría de modelos de paneles solares e inversores que se usan comercialmente, para el panel fotovoltaico se busca el modelo JKM555-575N-72HL4-(V) de la marca Jinko Solar y para el inversor solar se busca el modelo Solis-100k-5G-US de la marca Huawei, ambos definidos anteriormente en el apartado de parámetros generales de diseño fotovoltaico.



- Pérdidas por suciedad: Estas pérdidas son ocasionadas principalmente por acumulación de polvo en los módulos fotovoltaicos y en diseño solar se toma un valor del 3%, considerado zonas con poca generación de partículas, sin embargo, este valor puede aumentar en zonas con mucha generación de hollín o en zonas cañeras.
- Pérdidas por indisponibilidad del sistema: Se toma un valor del 3% anual de disponibilidad, lo que se traduce a 11 días aproximadamente. Considerando mantenimientos correctivos, apagones o indisponibilidad de la red.
- Pérdidas por envejecimiento de los módulos:

### 5.3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones en PVSyst para el modelo diseñado.

- **Resumen de dimensionamiento del sistema fotovoltaico sobre suelo**

<b>Resumen sistema global</b>	
Núm. de módulos	1760
Área del módulo	4812 m <sup>2</sup>
Núm. de inversores	8
Potencia FV nominal	1012 kWp
Potencia FV máxima	1000 kWCC
Potencia de CA nominal	800 kWCA
Proporción Pnom	1.265

*Figura 64. Resumen del dimensionamiento global del sistema en PVSyst.*

- **Generación mensual por hora del sistema fotovoltaico sobre suelo**

SISTEMA GLOBAL													
Monthly Hourly averages for E_Grid [kW]													
	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H
January	0	0	0	0	0	0	0	171	367	520	618	647	644
February	0	0	0	0	0	0	1	177	386	542	681	723	718
March	0	0	0	0	0	0	15	220	432	597	690	727	727
April	0	0	0	0	0	0	62	248	437	586	665	675	685
May	0	0	0	0	0	0	73	241	407	545	632	630	618
June	0	0	0	0	0	0	66	235	397	521	614	597	596
July	0	0	0	0	0	0	53	210	389	541	643	663	664
August	0	0	0	0	0	0	52	214	388	517	614	613	624
September	0	0	0	0	0	0	59	240	416	526	621	634	641
October	0	0	0	0	0	0	58	237	403	547	602	625	621
November	0	0	0	0	0	0	31	249	435	569	643	684	680
December	0	0	0	0	0	0	4	223	441	583	694	715	703
Year	0	0	0	0	0	0	40	222	408	549	643	661	660

	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H
January	606	512	373	196	4	0	0	0	0	0	0
February	691	622	482	263	27	0	0	0	0	0	0
March	727	615	456	266	54	0	0	0	0	0	0
April	605	544	402	222	44	0	0	0	0	0	0
May	547	469	314	170	37	0	0	0	0	0	0
June	556	466	344	201	52	0	0	0	0	0	0
July	638	537	405	230	62	0	0	0	0	0	0
August	594	504	383	222	54	0	0	0	0	0	0
September	589	513	374	192	17	0	0	0	0	0	0
October	551	434	291	129	1	0	0	0	0	0	0
November	627	502	345	140	0	0	0	0	0	0	0
December	634	519	360	161	0	0	0	0	0	0	0
Year	613	519	377	199	29	0	0	0	0	0	0

*Figura 65. Resultados de la simulación para la generación horaria por mes Sistema global.*

#### **5.4 CAPACIDAD DE GENERACIÓN FV EN EL SITIO SEGÚN YF**

El YF es un dato imprescindible a considerar a la hora de realizar el diseño de un sistema fotovoltaico, ya que este dato se ha obtenido después de una serie de estudios meteorológicos, geográficos y de estudios realizados a sistemas fotovoltaicos. Es por eso que el YF es un valor que ya contempla las pérdidas generadas en los equipos y se obtiene a partir de la generación anual de

los sistemas. En la siguiente figura se muestran los valores de YF para San Salvador, según la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos[50] . El diseño se realiza para una orientación hacia el sur de 0°, con una inclinación de los módulos fotovoltaicos de 13° y una tecnología de módulos fotovoltaicos monocristalina, por lo que, según la figura 66, el YF a considerar es de 1634.33kWh/kWp. Sin embargo, se usará un valor de 1600kWh/kWp para tener un poco de margen de cubrimiento.

		INDICES DE PRODUCCION FINAL (YF) DE PLANTA # 11 SAN SALVADOR										
MONOCRISTALINO		INCLINACION										
		4	5	7	8	10	13	13.71	15	20	25	30
ORIENTACION SUR, CON REFERENCIA SUR	0	↑1611.04	↑1615.61	↑1623.26	↑1626.35	↑1631.03	↑1634.33	↑1634.46	↑1634.04	↑1624.62	↑1602.83	↑1568.84
	5	↑1610.94	↑1615.48	↑1623.08	↑1626.14	↑1630.78	↑1634	↑1634.11	↑1633.66	↑1624.11	↑1602.21	↑1568.1
	10	↑1610.63	↑1615.09	↑1622.54	↑1625.53	↑1630.01	↑1633.01	↑1633.06	↑1632.52	↑1622.6	↑1600.34	↑1565.9
	15	↑1610.12	↑1614.46	↑1621.65	↑1624.51	↑1628.74	↑1631.36	↑1631.33	↑1630.63	↑1620.1	↑1597.25	↑1562.24
	20	↑1609.41	↑1613.57	↑1620.41	↑1623.1	↑1626.98	↑1629.08	↑1628.92	↑1628	↑1616.63	↑1592.96	↑1557.16
	25	↑1608.51	↑1612.44	↑1618.84	↑1621.3	↑1624.73	↑1626.17	↑1625.86	↑1624.65	↑1612.2	↑1587.49	↑1550.69
	30	↑1607.42	↑1611.08	↑1616.94	↑1619.12	↑1622.02	↑1622.66	↑1622.16	↑1620.61	↑1606.87	↑1580.9	↑1542.89
	35	↑1606.16	↑1609.5	↑1614.72	↑1616.6	↑1618.87	↑1618.57	↑1617.85	↑1615.91	↑1600.66	↑1573.22	⇒1533.81
	40	↑1604.72	↑1607.71	↑1612.22	↑1613.73	↑1615.29	↑1613.94	↑1612.98	↑1610.59	↑1593.62	↑1564.53	⇒1523.53
	45	↑1603.13	↑1605.72	↑1609.43	↑1610.56	↑1611.33	↑1608.81	↑1607.57	↑1604.68	↑1585.81	↑1554.88	⇒1512.11
	50	↑1601.39	↑1603.55	↑1606.4	↑1607.09	↑1607	↑1603.2	↑1601.66	↑1598.23	↑1577.29	⇒1544.35	⇒1499.65
	55	↑1599.52	↑1601.21	↑1603.13	↑1603.36	↑1602.35	↑1597.17	↑1595.31	↑1591.29	↑1568.12	⇒1533.02	⇒1486.25
	60	↑1597.53	↑1598.73	↑1599.66	↑1599.39	↑1597.4	↑1590.76	↑1588.55	↑1583.91	↑1558.37	⇒1520.97	⇒1472
	65	↑1595.44	↑1596.11	↑1596	↑1595.22	↑1592.19	↑1584.02	↑1581.45	↑1576.15	⇒1548.12	⇒1508.3	⇒1457.01
	70	↑1593.26	↑1593.39	↑1592.2	↑1590.87	↑1586.77	↑1576.99	↑1574.05	↑1568.07	⇒1537.44	⇒1495.11	⇒1441.4
	75	↑1591.01	↑1590.58	↑1588.27	↑1586.39	↑1581.17	↑1569.74	↑1566.41	↑1559.73	⇒1526.42	⇒1481.49	⇒1425.28
	80	↑1588.71	↑1587.71	↑1584.25	↑1581.8	↑1575.45	↑1562.32	↑1558.59	↑1551.19	⇒1515.13	⇒1467.54	⇒1408.78
	85	↑1586.37	↑1584.79	↑1580.17	↑1577.13	↑1569.63	↑1554.79	↑1550.65	⇒1542.52	⇒1503.67	⇒1453.38	⇒1392.03
90	↑1584.02	↑1581.85	↑1576.05	↑1572.43	↑1563.76	⇒1547.19	⇒1542.65	⇒1533.78	⇒1492.13	⇒1439.12	⇒1375.15	

Figura 66. KW-H/KWP para diferentes inclinaciones y orientaciones (monocristalino) sur, San Salvador

## 5.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En esta sección se realiza el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, considerando aspectos técnicos planteados anteriormente y escogiendo adecuadamente los equipos a implementar en el diseño, es por ello que a continuación se detallan características técnicas de los principales equipos a utilizar en el SFV.

## 5.4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM555N-72HL4 JKM555N-72HL4-V		JKM560N-72HL4 JKM560N-72HL4-V		JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V	
	STC	NOCT								
Maximum Power (Pmax)	555Wp	417Wp	560Wp	421Wp	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp	575Wp	432Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.64V	39.12V	41.77V	39.25V	41.92V	39.38V	42.07V	39.51V	42.22V	39.60V
Maximum Power Current (Imp)	13.33A	10.67A	13.41A	10.73A	13.48A	10.79A	13.55A	10.85A	13.62A	10.92A
Open-circuit Voltage (Voc)	50.34V	47.82V	50.47V	47.94V	50.60V	48.06V	50.74V	48.20V	50.88V	48.33V
Short-circuit Current (Isc)	14.07A	11.36A	14.15A	11.42A	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A	14.39A	11.62A
Module Efficiency STC (%)	21.48%		21.68%		21.87%		22.07%		22.26%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Figura 67. Especificaciones del panel solar modelo Tiger Neo N-type 72HL4-(V)Jinko Solar

## 5.4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERSOR SOLAR

Datasheet				
Model Name	Solis-75K-5G-US	Solis-80K-5G-US	Solis-90K-5G-US	Solis-100K-5G-US
<b>Input DC</b>				
Max. input voltage	1000 V			
Rated voltage	600 V			
Start-up voltage	195 V			
MPPT voltage range	180-1000 V			
Max. input current	8*26 A	9*26 A	10*26 A	
Max. short circuit current	8*40 A	9*40 A	10*40 A	
MPPT number/Max. input strings number	8/16	9/18	10/20	
<b>Output AC</b>				
Rated output power	75 kW	80 kW	90 kW	100 kW
Max. apparent output power	75 kVA	80 kVA	90 kVA	100 kVA
Max. output power	75 kW	80 kW	90 kW	100 kW
Rated grid voltage	3Ø/PE, 480 V			
Rated grid frequency	60 Hz			
Max. output current	90.2 A	96.2 A	108.3 A	120.3 A
Power Factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)			
THDI	<3%			

Figura 68. Especificaciones técnicas del Inversor. Para el diseño se utiliza el modelo de 100kW.

### 5.4.3 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELECTRICOS DEBIDO A LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA.

Para calcular el tamaño de los strings debemos conocer el Voc máximo y mínimo del panel fotovoltaico, es por eso que a continuación se procede a calcular los parámetros de variación de temperatura que nos servirán para calcular el Voc máximo y mínimo.

Según la norma ENG1215.2

$$\text{Irradiancia } G = \frac{1kW}{m^2}$$

$$\text{Temperaturadela celda} = 25^{\circ}C$$

$$\text{Distribucion espectral de la radiacion incidente} = AM 1.5 (\text{masa de aire})$$

La temperatura ambiente en San Salvador que vamos a considerar varía entre 5°C y 45 °C.

- **Calculo en rango de temperatura de la celda:**

$$T_c = T_a + \frac{G}{800} * (NOCT - 20)$$

Donde:

*T<sub>c</sub>: Temperatura máxima de la celda*

*T<sub>a</sub>: Temperatura máxima del ambiente*

*NOCT: Temperatura de operación normal de la celda = 45°C*

*G: Irradiancia = 1000W/m<sup>2</sup>.*

Entonces:

Para una temperatura  $T_a = 5^\circ\text{C}$ :

$$T_{c\_min} = 5 + \frac{0}{800} * (45 - 20) = 5^\circ\text{C}$$

Para una temperatura  $T_a = 45^\circ\text{C}$ :

$$T_{c\_max} = 45 + \frac{1000}{800} * (45 - 20) = 76.25^\circ\text{C}$$

Para el cálculo de delta de temperatura, asumimos una temperatura de celda mínima y máxima de  $5^\circ\text{C}$  y  $80^\circ\text{C}$  respectivamente.

$$\Delta T_{max} = T_{c\_max} - T_c = 80^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 55^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{min} = T_{c\_min} - T_c = 5^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = -20^\circ\text{C}$$

Con estos valores podemos encontrar la potencia máxima y mínima de operación, los voltajes máximos y mínimos de operación, los voltajes de circuito abierto máximo y mínimo y la corriente de corto circuito máxima y mínima de los MFV operando en estas condiciones extremas.

- **Potencia máxima y mínima de operación**

$$P_{min} = P_{wp} + Y * \Delta T_{max} * P_{wp}$$

$$P_{max} = P_{wp} + Y * \Delta T_{min} * P_{wp}$$

*Donde:*

*$P_{wp}$ : Potencia de máxima fotocelda.*

*$Y$ : Coeficiente de temperatura de máxima potencia.*

$\Delta T$ : Delta de temperatura.

Para una temperatura máxima de 80°C y mínima de 5°C:

$$P_{min}(80^{\circ}C) = 575W + (-0.0030/^{\circ}C * 55^{\circ}C * 575W) = 480.12W$$

$$P_{max}(5^{\circ}C) = 575W + (-0.0030/^{\circ}C * -20^{\circ}C * 575W) = 609.50W$$

- **Voltajes máximo y mínimo de operación:**

$$V_{mp\_min} = V_{mp} + Y * \Delta T_{max} * V_{mp}$$

$$V_{mp\_max} = V_{mp} + Y * \Delta T_{min} * V_{mp}$$

Donde:

$V_{mp}$ : Voltaje de máxima potencia fotocelda.

Para una temperatura máxima de 85°C y mínima de 5°C:

$$V_{mp\_min}(85^{\circ}C) = 42.22V + (-0.0030/^{\circ}C * 55^{\circ}C * 42.22V) = 35.25V$$

$$V_{mp\_max}(5^{\circ}C) = 42.22V + (-0.0030/^{\circ}C * -20^{\circ}C * 42.22V) = 44.75V$$

- **Voltajes de circuito abierto máximo y mínimo de operación:**

$$V_{oc\_min} = V_{oc} + \beta V_{oc} * \Delta T_{max} * V_{oc}$$

$$V_{oc\_max} = V_{oc} + \beta V_{oc} * \Delta T_{min} * V_{oc}$$

Donde:

$\beta V_{oc}$ : Coeficiente de temperatura de voltaje de circuito abierto

*Voc: Voltaje de circuito abierto de fotocelda.*

$$Voc_{min} = 50.88V + (-0.0025/^{\circ}C * 55^{\circ}C * 50.88V) = 43.88V$$

$$Voc_{max} = 50.88V + (-0.0025/^{\circ}C * -20^{\circ}C * 50.88V) = 53.42V$$

- **Corrientes de corto circuito máxima y mínimas de operación:**

$$Isc_{min} = Isc + \alpha * \Delta T_{max} * Isc$$

$$Isc_{max} = Isc + \alpha * \Delta T_{min} * Isc$$

Donde:

*$\alpha$ : Coeficiente de temperatura de corriente de corto circuito.*

*Isc: Corriente de corto circuito de la fotocelda.*

$$Isc_{min} = 14.39A + (0.00046/^{\circ}C * 55^{\circ}C * 14.39A) = 14.75A$$

$$Isc_{max} = 14.39A + (0.00046/^{\circ}C * -20^{\circ}C * 14.07) = 14.25A$$

#### 5.4.4 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO Y LA POTENCIA DE LOS STRINGS.

El número máximo y mínimo de MFV para cada string se calcula con el Voc\_min y Voc\_max antes calculado y con los voltajes de las curvas P/V del inversor de 100kW, según apéndice del manual de usuario.

$$MFV_{max/string} = \frac{V_{max}(INV)}{V_{oc_{max}}} = \frac{850V}{53.42V} = 15.91MFV \rightarrow 15MFV$$

$$MFV_{min/string} = \frac{V_{min}(INV)}{V_{oc_{min}}} = \frac{385V}{43.88V} = 8.77MFV \rightarrow 9MFV$$

El número máximo y mínimo de MFV para cada String considerando el rango de operación del MPPT, se calcula con el  $V_{mp\_min}$  y  $V_{mp\_max}$  antes calculado y con el voltaje mppt máximo y mínimo del inversor, este dato lo encontramos en su ficha técnica.

$$MFV_{max/string} = \frac{V_{max}(MPPT)}{V_{mp_{max}}} = \frac{1000V}{44.75V} = 22.35MFV \rightarrow 22MFV$$

$$MFV_{min/string} = \frac{V_{min}(MPPT)}{V_{mp_{min}}} = \frac{180V}{35.25V} = 5.10MFV \rightarrow 6MFV$$

Tomando un punto medio entre la cantidad de MFV máximo y mínimo que cumple tanto para el rango de operación como para el rango de MPPT del inversor, se toma un número intermedio entre el rango (9MFV – 15MFV), este número es 11 MFV por cada string.

- **Cálculo de potencia de cada entrada MPPT:**

En el área de diseño fotovoltaico un coeficiente de sobredimensionamiento CC/CA ideal es de 1.3, con este valor en la relación de potencias DC y AC, se consigue que los inversores no estén sobredimensionados y que también el inversor siempre entregará la potencia AC nominal en horas sol pico, con cielo despejado. Tomando como referencia este valor y la potencia AC del inversor, se calcula la potencia por cada entrada MPPT del mismo.

$$P_{MPPT} = \frac{P_{AC} * Coef. Sobredimensionamiento CC/CA}{N_{O_{MPPT}}} = \frac{100kW_{ac} * 1.30}{10} = 13kW$$

- **Cálculo de potencia de cada string del MPPT:**

Cada MPPT del inversor tiene 2 entradas o strings, así que se calcula la potencia por cada entrada:

$$P_{por\ string} = \frac{P_{MPPT}}{No_{entradas\ por\ MPPT}} = \frac{13kW}{2} = 6.5kW$$

- **Numero de MFV por cada String del MPPT:**

$$MFV/String = \frac{P_{por\ strig}}{Potencia_{MFV}} = \frac{6.5}{575W} = 11.3MFV \rightarrow 11MFV$$

#### 5.4.5 COMPROBACIÓN DE LOS PARÁMETROS CALCULADOS CON LOS DE LA FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR

- **Corriente de corto circuito máxima y mínima por MPPT:**

Según ficha técnica del inversor de 100kW, la máxima corriente de cortocircuito por MPPT debe ser 40A.

$$I_{scMPPT} = I_{sc} * \#Entradas\ del\ MPPT$$

$$I_{sc_{min}} = 14.25A * 2 = 28.5A$$

$$I_{sc_{max}} = 14.75 * 2 = 29.5A$$

- **Voltaje de operación máximo y mínimo de cada String:**

Según el manual de usuario del inversor, el rango de voltaje para que el inversor de 100kW entregue su potencia nominal, es de 385V-850V. Según ficha técnica el rango de voltaje del MPPT del inversor es de 180V-1000V.

$$V_{mp_{min}} \text{ del string} = V_{mp_{min}} * \#MFV_{string} = 35.25V * 11 = 387.75V$$

$$V_{mp_{max}} \text{ del string} = V_{mp_{max}} * \#MFV_{string} = 44.75V * 11 = 492.25V$$

- **Potencia total DC en la entrada del inversor:**

$$P_{INV} = Potencia_{MFV} * \#MFV_{por\ string} * \#MPPT * \#Entradas\ del\ MPPT$$

$$P_{INV} = 575W * 11MFV * 10MPPT * 2entradas = 126.5kW$$

#### 5.4.6 POTENCIA DE GENERACIÓN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

La potencia DC demandada por la colonia es de 977.3kWp, a este valor se divide por el factor de sobredimensionamiento para obtener la potencia AC, requerida por el sistema fotovoltaico, este valor da como resultado 751.7kW.

**Total, de inversores del sistema:**

$$\#Inversores = \frac{P_{Demandada}}{P_{InvAC}} = \frac{751.7kW}{100kW} = 7.517 = 8 \text{ inversores}$$

#### 5.4.7 RESUMEN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

<b>PARAMETROS DE LOS MFV</b>	<b>CALCULADOS</b>	<b>MFV</b>
Potencia de Operación	Pmax: 609.50W Pmin: 480.12W	Pmax: 575W
Voltaje de Operación	Vmp_max: 44.75V Vmp_min: 35.25V	Vmp: 41.64V
Voltaje de Corto circuito	Voc_max: 53.42V Voc_min: 43.88V	Voc: 50.88V
Corriente de Corto circuito	Isc_max: 14.75A Isc_min: 14.25A	Isc: 14.39A
<b>PARAMETROS DE LOS INVERSORES</b>	<b>CALCULADOS</b>	<b>INVERSOR</b>
Potencia por String	P_string: 6.5kW	---
Potencia por MPPT	P_MPPT: 13kW	---
Voltaje de Operación	Vmp_max: 492.25V Vmp_min: 387.75V	Vmax: 1000V Vmin: 195V
Corriente Isc del MPPT del inversor	Isc_max: 29.5A Isc_min: 28.5A	Isc_max: 40A
Potencia del inversor	Pdc: 126.5kW	Pdc_max: 100kW
Ratio de potencia DC/AC	Calculado: 1.265	Ideal: 1.30

*Tabla 15. Cálculo de parámetros de los MFV e inversores*

<b>DIMENSIONAMIENTO DE LOS INVERSORES</b>	
No. de MFV por string	11
No. de string por MPPT del inversor	2
No. de entradas MPPT por Inversor	10
Total, de string por inversor	20
Total, de MFV por inversor	220
Potencia total de los MFV	126.5kW

*Tabla 16. Dimensionamiento del inversor*

<b>DIMENSIONAMIENTO TOTAL DEL SISTEMA</b>	
No. total, de strings	160
No. total, de inversores	8
No. total, de MFV	1760
Potencia total del sistema	1012kW <sub>p</sub>

*Tabla 17. Dimensionamiento del sistema*

#### 5.4.8 DETERMINACIÓN DEL ESPACIAMIENTO Y LAS ÁREAS

Para obtener una mayor uniformidad en la distribución de los string, se ha considerado elegir 20 mesas de 2x22MFV y 10 mesas de 2x44MFV. Cada inversor maneja 5 mesas de 2x22 MFV. La altura desde el suelo hasta la mesa de 0.75m para evitar que la lluvia produzca salpicaduras en los paneles y garantizar facilidad para el mantenimiento de control de maleza. Cada string tiene 11 MFV, por tanto, cada mesa de 2x22 MFV tiene 4 string y cada mesa de 2x44 tiene 8strings. La distribución de los MFV en el área se observa en la figura77 de la sección 5.4.10.

Los paneles fotovoltaicos se instalarán verticalmente a fin de afectar la menos cantidad posible de paneles por problemas de sombreado.

- **Área de las mesas**

De la hoja de especificaciones del módulo se tiene las dimensiones: 2278X1134X35 mm.

$$L_{MESA_{2x20}} = L_{MFV} * \#MFV + L_{Separadores} * \#Separadores ; \text{ Separadores de } 2\text{cm}$$

$$L_{MESA_{2x22}} = 1.134\text{m} * 22 + 0.02 * 21 = 25.36\text{m}$$

$$L_{MESA_{2x44}} = 1.134\text{m} * 44 + 0.02 * 43 = 50.75\text{m}$$

$$Ancho_{MESA_{2x22}} = Ancho_{MFV} * \#MFV + Ancho_{SEP.} * \#SEP.$$

$$Ancho_{MESA_{2x22}} = 2.278 * 2 + 0.02 * 1 = 4.576\text{m}$$

$$Ancho_{MESA_{2x44}} = 2.278 * 2 + 0.02 * 1 = 4.576\text{m}$$

$$Area_{mesa_{2x22}} = 25.36\text{m} * 4.576\text{m} = \mathbf{116.04\text{m}^2}$$

$$Area_{mesa_{2x44}} = 50.75\text{m} * 4.576\text{m} = \mathbf{231.95\text{m}^2}$$

- **Área total de paneles**

$$Area_{MFV} = 20 * Area_{mesa_{2x22}} + 10 * Area_{mesa_{2x44}}$$

$$Area_{MFV} = 20 * 116.04\text{m}^2 + 10 * 231.95\text{m}^2 = \mathbf{4640.3\text{m}^2}$$

- **Área de los pasillos**

La distancia mínima de espaciamento entre los MFV que se calcula a continuación se hará teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensiones de los MFV: 2278X1134X35 mm
- Los MFV estarán dispuestos en horizontal a una inclinación de  $13^\circ$  (respecto a la horizontal).
- Los MFV se dispondrán al sur con un azimut de  $0^\circ$  ( $0^\circ$  con respecto al sur).
- El día más crítico de posición solar es el 21 de diciembre, con una declinación solar de  $-23.45^\circ$
- Latitud del terreno:  $13.92^\circ$ N

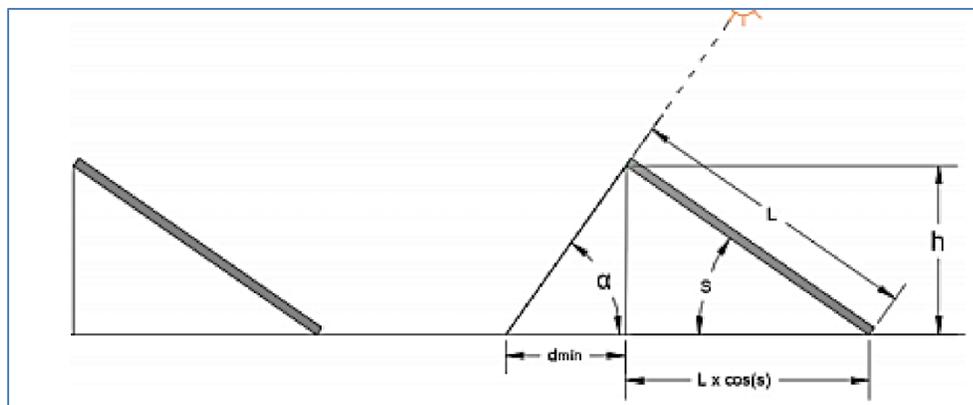


Figura 69. Esquema de la distancia mínima de separación de los MFV

- **Distancia mínima entre los MFV:**

$$d_{min} = \frac{h}{\tan \tan(\alpha)} ; \quad = 90^\circ - \delta - \text{latitud} ; \quad h = L * \sin(s)$$

Usando mesas de 6 módulos puestos en horizontal tenemos:

$$d_{min} = \frac{h}{\tan \tan(\alpha)} = 90^\circ - 23.45^\circ - 13.92^\circ = 52.63^\circ$$

$$h = 0.2278 * 2 * \sin(13^\circ) = 1.02m$$

$$d_{min} = \frac{1.34}{\tan \tan(52.79^\circ)} = 0.77m$$

El espacio mínimo es de 0.77 metros, pero vamos a considerar espaciamientos de 1.5m como una distancia apropiada para mantenimiento de las mesas.

- **Área de los pasillos entre mesas:**

$$\begin{aligned} Area_{pasillos} = & \#pasillos_{mesa2x22} * (Area_{pasillos_{2x20}}) + \#pasillos_{mesa2x44} \\ & * (Area_{pasillos_{2x10}}) \end{aligned}$$

$$Area_{pasillos} = 22 * (1.5m * 25.36m) + 11 * (1.5m * 50.75m)$$

$$Area_{pasillos} = 1674.25m^2$$

- **Área de los viales:**

Se asume la misma área de pasillos para los viales es decir 1674.25m<sup>2</sup>

$$Area_{Viales} = 1674.25m^2$$

- **Área total del parque fotovoltaico**

$$Area_{Total} = Area_{MFV} + Area_{Pasillos} + Area_{Viales}$$

$$Area_{Total} = 4,640.3m^2 + 1,674.25m^2 + 1,674.25m^2$$

$$Area_{Total} = 7,988.8m^2$$

Considerando el área destinada para casetas de control, casetas de equipos y casetas de vigilancia redondeamos el área siguiendo el criterio que dice: en 1 hectárea (10,000m<sup>2</sup>) se instala 1 MWp. Se establece un área requerida de 10,000m<sup>2</sup>.

#### 5.4.9 DETERMINACIÓN DE LAS PROTECCIONES Y CABLEADO DEL SISTEMA

- **Protecciones y cableado DC**

Para calcular los fusibles de los string se utiliza la corriente de corto circuito proporcionada por el MFV. Se aplica el factor de carga continua y el factor por variación de la irradiancia solar.

$$I_{string} = \frac{ISC_{MFV}}{0.8 * 0.8} = \frac{14.39A}{0.8 * 0.8} = 22.48A$$

El inversor soporta una corriente de cortocircuito máxima en cada entrada MPPT de 40A, se eligen fusibles de 25A, ya que según ficha técnica del MFV, la máxima corriente del fusible en serie debe ser de 25A.

Especificación:

- 20 fusibles 1000 VDC 25A por inversor.
- Cable PV, 2 calibre #10 AWG + 1 calibre #12 AWG

- **Protecciones y cableado AC**

De la ficha técnica del inversor, se sabe que la máxima corriente de salida a un voltaje de 480V es de 120.3A, para la salida AC.

$$I_{AC} = \frac{120.3A}{0.8} = 150.3A$$

Especificación:

- 1CB 150A, trifásico 480V por inversor.
- 3 calibre #1/0 AWG + 1 calibre #2 AWG

- **Tablero del desconectador AC y cableado hacia transformador**

Se tienen 8 inversores, para disminuir la capacidad del tablero y las protecciones, se colocan 2 tableros, cada uno con 4 inversores

Tablero:

$$CB = 4 * I_{AC} = 4 * 150.3 = 601.2A$$

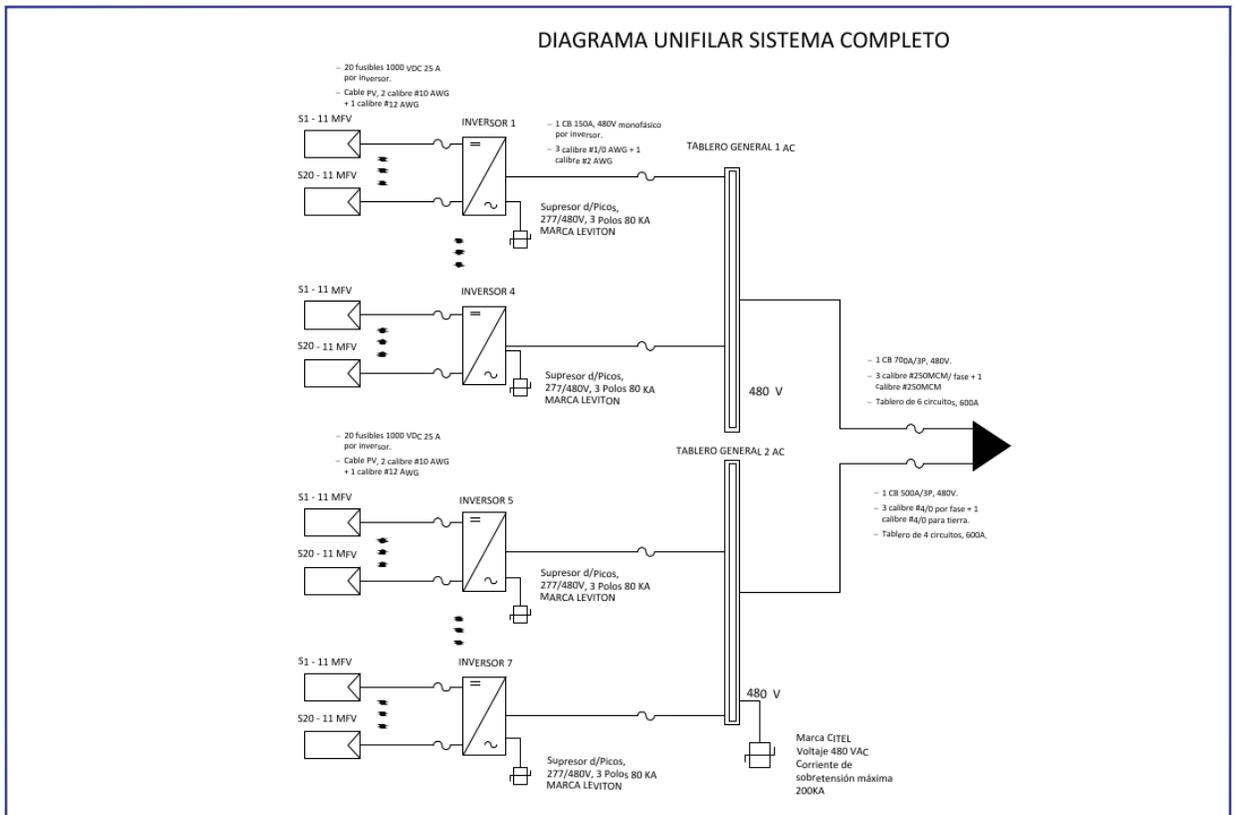
Especificación:

- 2 CB de 700A/3P, 480VAC

- 2 tableros de 6 circuitos, 800A.
- 3 calibre #250MCM por fase + 1 calibre #250MCM para puesta a tierra.

#### 5.4.10 PLANOS Y DIAGRAMAS

- **Diagrama unifilar**



*Figura 70. Diagrama unifilar para el sistema fotovoltaico sobre suelo*

- **Distribución de los String**

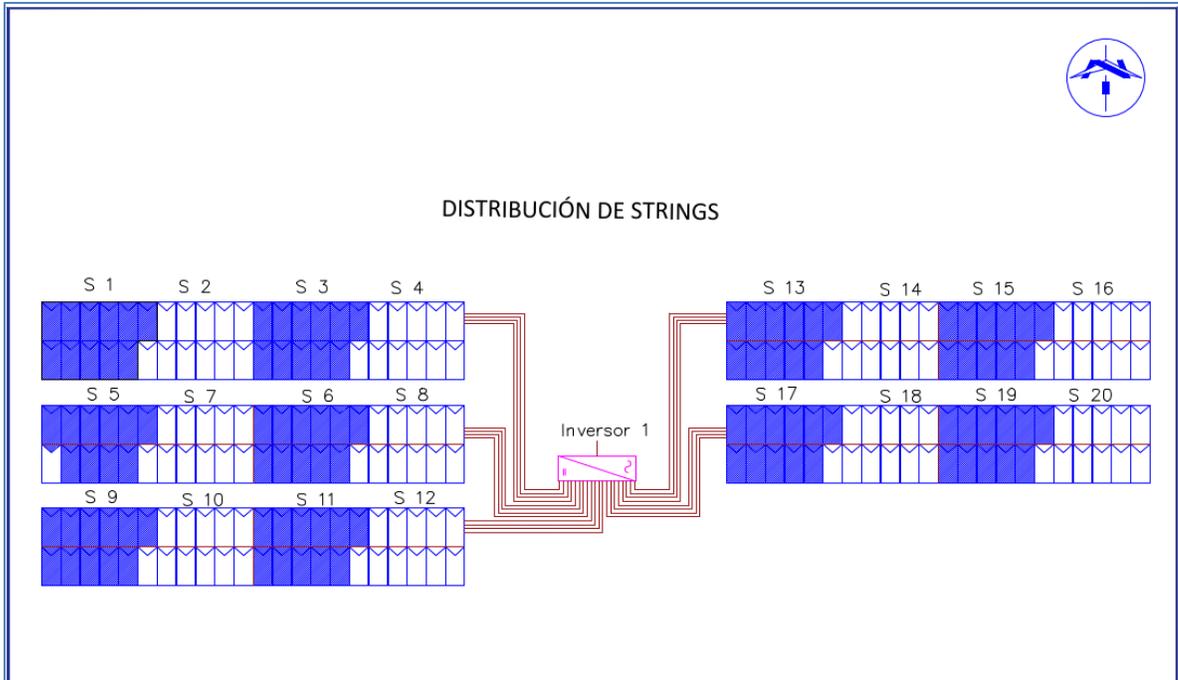
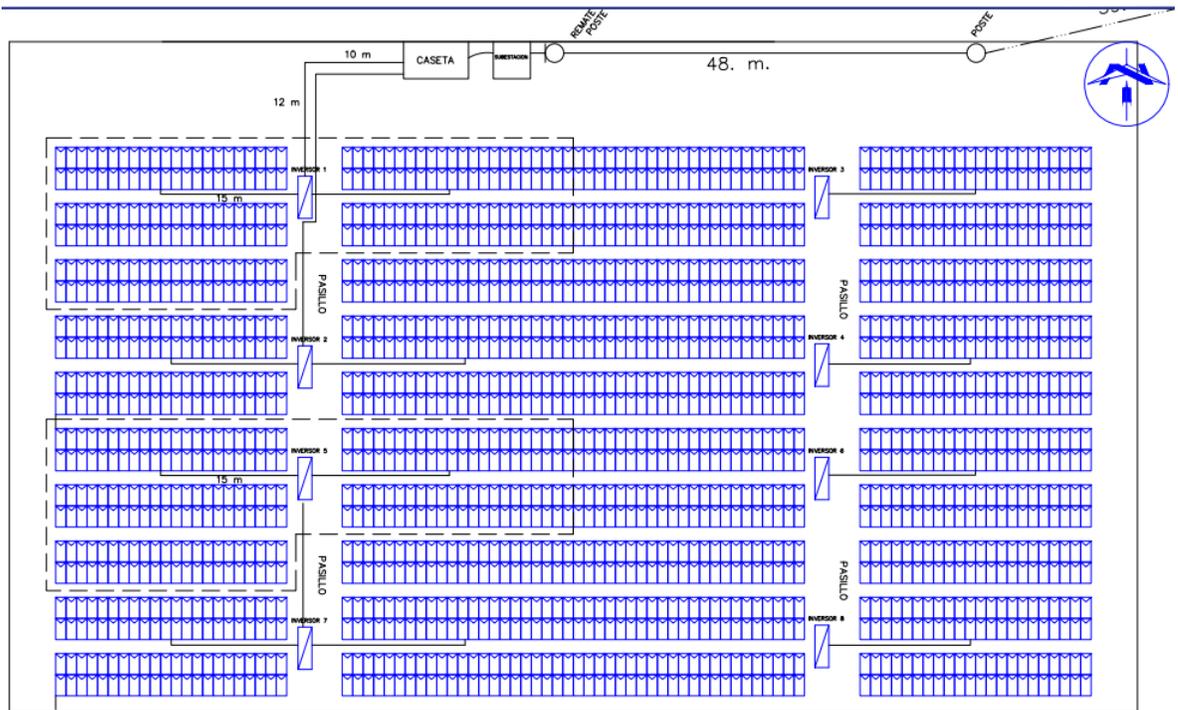


Figura 71. Distribución de los string hacia los inversores.

- **Distribución de los MFV**



*Figura 72. Distribución total de los módulos fotovoltaicos*

## **5.6. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO**

Antes de diseñar el sistema de almacenamiento se debe tener claro su aplicación, ya que de esta depende las dimensiones del sistema. Es por esa razón que en esta sección se va a definir la aplicación que tendrá el sistema de almacenamiento, según las necesidades que la demanda exige.

### **5.6.1 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO**

Como se evidencia en el capítulo 4, la curva de demanda diaria de la colonia muestra un pico de demanda en horas de la tarde, este pico de demanda empieza a ser evidente a las 16:00pm elevándose hasta su punto máximo a las 18:00pm para luego decrecer de forma constante hasta la madrugada. En este caso particular se ha planteado desarrollar la aplicación de recorte de pico o “peakshaving”, como es llamado comúnmente.

Se han planteado dos métodos para calcular la energía necesaria en el pico de demanda, el primer método se aplica aprovechando la geometría de la curva en el pico de demanda y el segundo es un método numérico.

### **MÉTODO GEOMÉTRICO PARACALCULAR LA ENERÍA NECESARIA EN EL PICO DE DEMANDA**

Como se observa en el grafico 6, el pico de demanda tiene una geometría muy simétrica, por lo que se ha planteado sobreponer en la curva un triángulo de dimensiones conocidas y de esta manera obtener la energía demandada durante el pico de demanda, calculando el área de dicho triángulo.

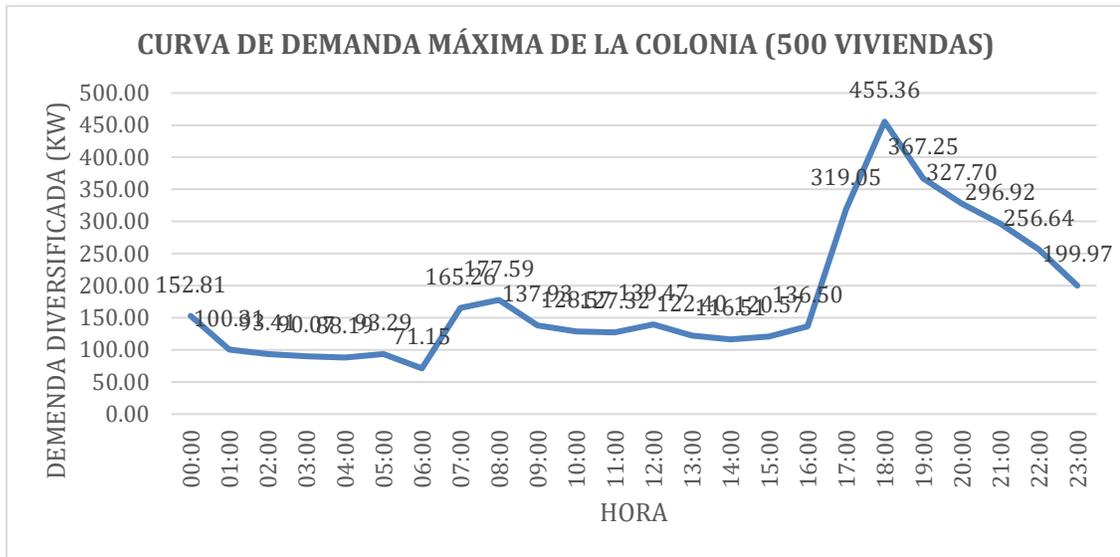


Gráfico6. Curva de demanda total diaria de la colonia

Los sistemas de almacenamiento se dimensionan de tal forma que tengan la capacidad abastecer de energía en el momento que se requiera según su aplicación, además deben de tener un tamaño necesario para no elevar demacuerdo los costos y que el proyecto sea muy costoso. Por estas razones se ha diseñado el sistema para 6 horas de autonomía.

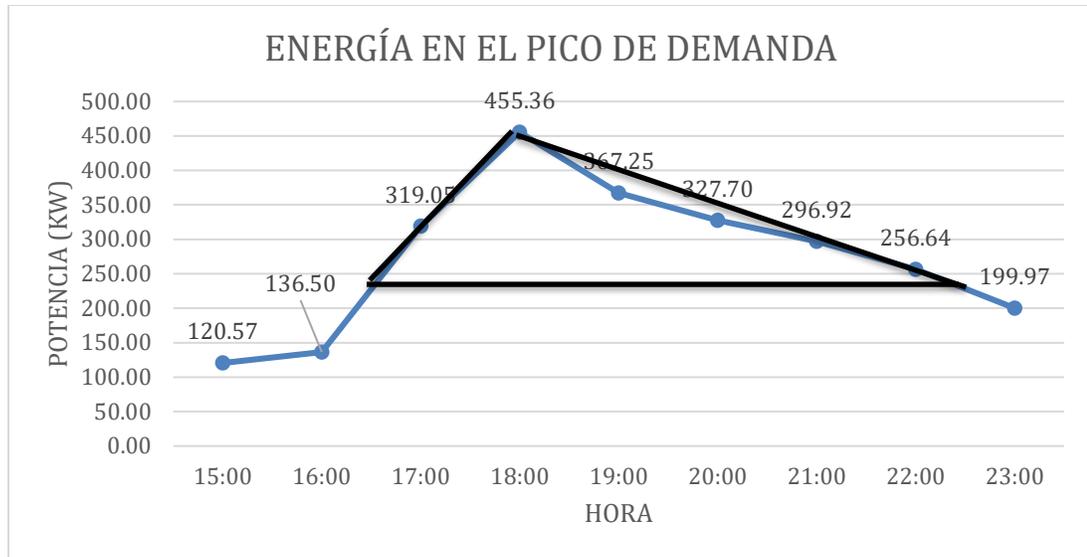


Gráfico7. Energía necesaria para recortar el pico de demanda diaria

Por medio de una extrapolación rápida se determina que la potencia demandada a las 16:30pm es de 227.8kW, el tiempo de autonomía del sistema es de 6 horas por lo que si el sistema inicia su descarga a las 16:30pm terminará su descarga a las 22:30pm

La energía requerida para abastecer el pico de demanda diario es entonces el área del triángulo y se obtiene de la siguiente manera:

$$Energia \Delta = \frac{B * H}{2} = \frac{6h * (455.36kW - 227.8kW)}{2}$$

$$Energia \Delta = \mathbf{682.68kWh}$$

MÉTODO NUMÉRICO PARA CALCULAR LA ENERÍA NECESARIA EN EL PICO DE DEMANDA

En vista que lo que se necesita es obtener la energía necesaria para abastecer el pico de demanda diario esta se calcula obteniendo el área bajo la curva del pico de demanda, se procede a obtener dicho valor utilizando Matlab y como forma de comprobación se utilizara GeoGebra.

En principio se grafica solamente el pico de demanda posicionándose en el origen y se obtiene la ecuación que corresponde a dicho grafico como se observa en la gráfica siguiente:

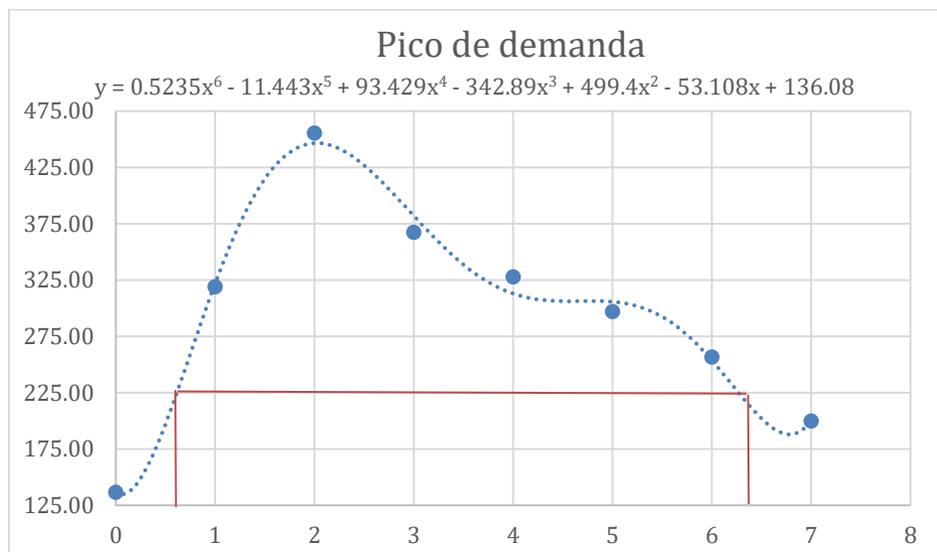


Gráfico 8. Ecuación que describe el pico de demanda diaria.

Ahora bien, se definen los límites, como sabemos el área que deseamos obtener empieza desde 227KW por tanto los limites son desde 0.5h hasta 6.5h integrando la función obtenida haciendo uso de la función “integral” de Matlab y definiendo sus límites nos arroja un resultado de 653.9476KWh.

```

1 fun = @(x) 0.5235*x.^6-11.443*x.^5+93.429*x.^4-342.89*x.^3+499.4*x.^2-53.108*x+136.08-227;

2 Evaluate the integral from x=0 to x=Inf.
   q = integral(fun,0.5,6.5)|
   q = 653.9476

```

Figura 73. Cálculo del área bajo la curva del pico de demanda utilizando Matlab.

Código en Matlab:

```

fun = @(x) 0.5235*x.^6-11.443*x.^5+93.429*x.^4-342.89*x.^3+499.4*x.^2-53.108*x+136.08-227;
q = integral(fun,0.5,6.5)
q = 653.9476

```

A manera de comprobación se utiliza el software GeoGebra obteniendo resultados muy similares.

```

fun = @(x) 0.0002*x.^6-0.0197*x.^5+0.6082*x.^4 - 8.489*x.^3 + 54.186*x.^2 - 132.75*x + 171.88;

```



Figura 74. Cálculo del área bajo la curva del pico de demanda utilizando GeoGebra.

Código en GeoGebra

```
f(x)= 0.5235*x.^6-11.443*x.^5+93.429*x.^4-342.89*x.^3+499.4*x.^2-53.108*x+136.08-227;  
a = integral(f,0.5,6.5)  
a = 653.94759
```

En la figura 74, se aprecia que el pico corresponde a 228kW aproximadamente esto se debe a que desplazamos la gráfica 227KW hacia abajo con el fin de apreciar el área que se desea obtener colocando en el origen, el inicio del pico de demanda.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en Matlab y GeoGebra notamos que en ambos casos obtenemos exactamente lo mismo **653.94759 KWh**.

## 5.6.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Los resultados obtenidos en ambos métodos tienen una cierta diferencia, se pudieran usar los resultados de cualquiera de los métodos, sin embargo, para el cálculo del BESS se utiliza los resultados del método numérico.

- **Determinación de la capacidad requerida del conjunto de baterías**

Con el dato de la energía necesaria para suplir el pico de demanda, se debe calcular la capacidad necesaria, mediante la siguiente manera:

$$CB(Ah) = \frac{\text{Energía } \Delta}{n_g * DoD}$$

Donde:

Ah: Capacidad del acumulador

$\eta_g$ : Rendimiento del acumulador

DoD: Profundidad de descarga de las baterías

Aunque para el diseño usaremos baterías de ion-litio, las cuales tienen una alta profundidad de descarga, para el diseño usaremos el 80%. Al igual que la consideración anterior, las baterías de ion-litio poseen altas eficiencias, cercanas al 98%, sin embargo, usaremos una eficiencia del acumulador del 80% para tener un porcentaje de cubrimiento en el cálculo.

$$CB(kWh) = \frac{653.94kWh}{0.80 * 0.80} = 1,021kWh$$

- **Dimensionamiento del banco de baterías.**

Para el diseño del banco de baterías se utilizan baterías de litio por ser más confiables, eficientes y duraderas. Un sistema BESS no solo se compone de un banco de baterías, para completar el sistema de almacenamiento se requiere diseñar el inversor bidireccional, el transformador de potencia y demás elementos de control del sistema, sin embargo, hoy en día existen soluciones comerciales en las que se incorpora todos los dispositivos que dimensionan un sistema de almacenamiento, desde los bancos de baterías, unidad convertidora de potencia, switch de transferencia, softwares de control y monitoreo, etc. Una vez conociendo la capacidad del banco de baterías podemos escoger una de estas soluciones para nuestro sistema de almacenamiento, siempre y cuando cumpla con los parámetros antes calculados.

Se elige el sistema de almacenamiento AgreatE de 250kW, el sistema cuenta con un voltaje de entrada y salida AC de 480V, ideal para la interconexión con la salida la planta fotovoltaica y la red de distribución. El sistema está compuesto por 8 bancos de baterías de 138kWh, un sistema

de conversión de potencia (PCS) de 250kW, Un transformador de potencia de 250kW, un sistema de climatización (HVAC) y un sistema de gestión de batería (BMS).



*Figura 75. Contenedor del sistema de almacenamiento ATEN 250kW/1,104kWh*

Item	M250-276/NA	M250-552/NA	M250-1,104/NA	M250-1,656/NA
<b>DC Data</b>				
Battery Chemisty	Lithium Iron Phosphate (LFP)			
Cell life cycle	80% Retention with 5,000 Cycles @ 1C 25°C			
Cell spec	3.2V/90Ah			
Rack configuration	2P240S			
Number of strings	2	4	8	12
Rack rated energy capacity	138kWh			
DC rated energy capacity	276kWh	552kWh	1,104kWh	1,656kWh
Rated voltage	768V			
Voltage range	672V~852V			
BMS communication interface	RS485, Ethernet			
BMS communication protocol	Modbus RTU, Modbus TCP			
<b>AC Data</b>				
Rated AC power	250kW			
Maximum AC power	275kW			
Rated voltage	400V/480V			
Grid voltage range	±15%/±10%			
AC rate of current	360A/301A			
Output THDi	≤3%			
Grid connected power factor	1(leading)~1(lagging)			
Grid frequency range	50/60±2.5Hz/59.5~60.5Hz			
Isolation method	3 Phase 4 Line Transformer			
<b>General Data</b>				
Dimension w/o clearances(L*W*H)	6,058*2,438*2,591mm		6,058*2,438*2,591mm	
Weight of whole system	<12T	<15T	<21T	<26T
Degree of protection	IP54			
Operating temperature range	-20~40 °C			
Relative humidity	0~95 % (non-condensing)			
Max working altitude	3,000m/9,842ft			
Cooling concept of DC hatch	HVAC			
Communication interfaces	RS485, Ethernet, GPRS			
Certificates	IEC 62619, UN 38.3, CE,UL1973			

*Figura 76. Características técnicas del sistema de almacenamiento ATEN*

*250kW/1,104kWh*

## CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

<b>CARACTERISTICAS DEL SISTEMA</b>		
	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad (kWh)</b>
Contenedor BESS	1	1,104kWh
String de baterías	8	138kWh
Pack de baterías por string	15	9.2kWh

*Tabla 18. Características del sistema de almacenamiento*

Cada uno de los 8strings de baterías tiene su propia protección especificada según el documento de la ficha técnica.

### 5.6.3 ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN ENTRE EL SISTEMA FOTOVOLTAICO Y EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

En el capítulo 3 se estudió, los distintos esquemas de interconexión entre un sistema SFV y un BESS, de acuerdo a estos esquemas, se puede definir para este caso un el esquema conectado a la red con limitación de inyección, el cual podemos observar en la sección 3.6.5.

En el esquema de la figura 77 se puede observar que tanto el sistema fotovoltaico, como el sistema de almacenamiento tienen una salida de voltaje AC de 480V, los dos sistemas se conectan al lado secundario del transformador elevador (480V/23kV), para luego interconectarse con la red de distribución. En el diagrama se observa que el sistema BESS se conecta al sistema fotovoltaico mediante acoplamiento AC, esto se ha diseñado así para aprovechar los excedentes de energía que se generan en el SFV para cargar las baterías. También se observa en el diagrama la ubicación de dos medidores de energía, el primer medidor se coloca justo a la salida de la planta solar, este medidor registrará la energía entregada por el sistema fotovoltaico a la red. Este medidor también

debe ser bidireccional ya que se debe medir la energía consumida por el sistema fotovoltaico y el transformador, durante la noche. El segundo medidor debe colocarse justo antes del punto de interconexión con la red, de esta manera se podrá medir la energía consumida de la red y la energía entregada a la red.

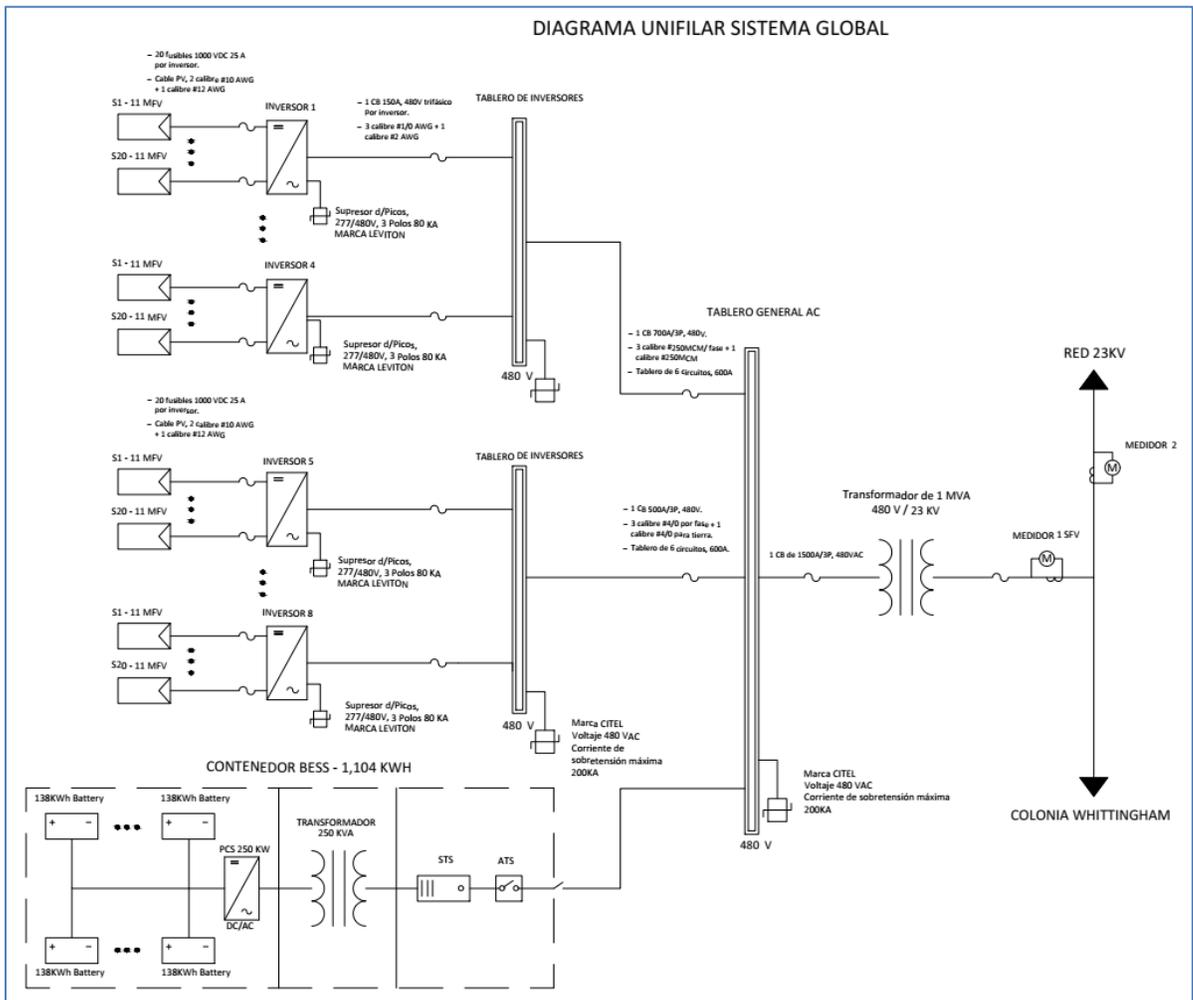


Figura 77. Esquema de interconexión del SFV y el BESS con la colonia

## Capítulo 6 : ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

En el presente capítulo se analiza desde el punto de vista técnico y económico, la factibilidad de cada uno de los sistemas propuestos, se evalúan aspectos técnicos de los sistemas,

así como también costos asociados, para posteriormente realizar el estudio de factibilidad a cada uno de los casos y determinar cuál sistema resulta más viable para su implementación.

## **6.1 VALIDACIÓN DE LOS DATOS UTILIZADOS**

En este capítulo se realiza el análisis de costo de la energía demandada por la colonia y posteriormente se realiza el análisis de ahorros que genera la implementación del sistema fotovoltaico y el sistema de almacenamiento. Para ello se necesitan los datos de energía diaria consumida por la colonia, estos datos se obtienen luego de implementar el método Arvidson, tal y como se explica en el capítulo 4. También se necesitan los datos de energía generada por el sistema fotovoltaico, estos datos se obtienen mediante el software PVSyst y se calculan en la sección 5.3.1. Al igual que los datos de energía estimada por PVSyst, los datos obtenidos por el método de Arvidson, se presentan de forma horaria, esto facilita la comparación de la energía consumida vs la energía inyectada a la red en cada hora del día y es muy útil para realizar la facturación de energía consumida por la colonia en los diferentes periodos de consumo, así como también para facturar la energía inyectada a la red a cualquier hora del día.

Para validar la granularidad de los datos de forma horaria, se opta por determinar la variación de estos, para esto se utiliza un método numérico tal y como se hace en la sección 5.6.1. En este caso se toman los datos de demanda diaria por hora y se procesan para generar una gráfica más exacta.

Se utilizó GeoGebra para calcular la curva de demanda diaria de la colonia, tomando como base los datos horarios de demanda, posteriormente se estimó el polinomio que describe la curva de demanda y por integración del área bajo la curva, se obtiene los siguientes resultados:

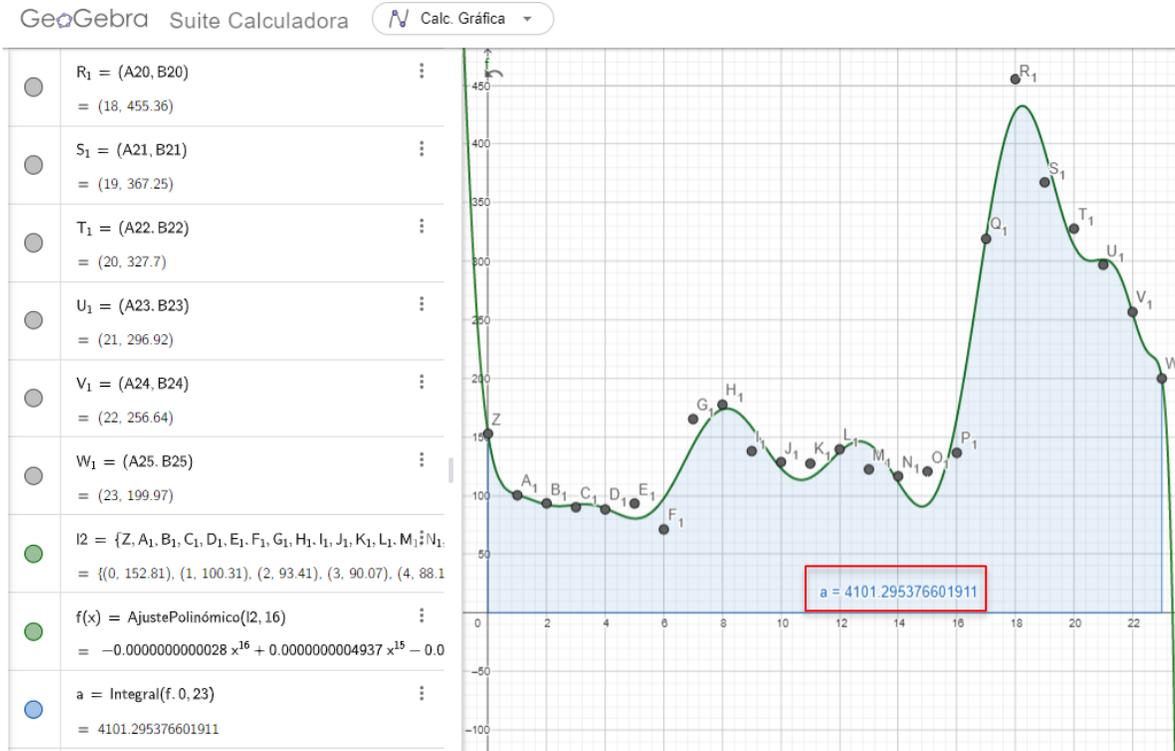


Figura 78. Cálculo estimado del consumo de energía diaria de la colonia.

Con el ajuste de la curva se obtiene un total de energía diaria demandada de 4101.2953 kWh comparado con el resultado estimado mediante la sumatoria de los datos horarios (4284.20 kWh) tenemos una diferencia de 180.90 kWh. En porcentaje los resultados tienen una diferencia del 4.22% aproximadamente.

En base a este resultado se procede a utilizar los datos de energía por hora generados por el método Arvidson esto tiene la ventaja de poder comparar los datos de generación estimada por PVSyst, que también son datos por hora, además de tener la posibilidad de calcular las inyecciones y consumos de energía de la red a cualquier hora del día y no de forma diaria.

## 6.2 CONSUMO DE ENERGÍA Y FACTURACIÓN MENSUAL DE LA COLONIA

Se realiza un estudio de la energía que se consume en la colonia para poder determinar cuánto es el monto mensual que la comercializadora paga a la distribuidora por la energía consumida y la potencia demandada. El consumo de energía mensual de la colonia se estima, analizando los costos de energía en los periodos punta, valle y resto, así como también el pico de demanda diario. Este análisis se realiza apoyado de los precios de energía eléctrica para trasladar a las tarifas de las empresas distribuidoras, publicado por la SIGET.

### 6.2.1 ENERGÍA CONSUMIDA Y POTENCIA DEMANDADA

En la sesión 4.3.3, donde se aplica el método de Arvidson para obtener la curva de demanda de la colonia, se obtuvo valores de potencia horaria, es decir esos valores de potencia se traducen directamente a energía. De esta manera podemos calcular la energía demandada en los distintos horarios de servicio en base a la tabla.

Energía demandada en el periodo Punta (kWh)	
Hora	Potencia
18:00	455.36
19:00	367.25
20:00	327.70
21:00	296.92
22:00	256.64
Total	1703.86

*Tabla 19. Energía Punta diaria consumida en la colonia*

Energía demanda en el periodo Valle (kWh)	
Hora	Potencia
23:00	199.97
00:00	152.81
01:00	100.31
02:00	93.41
03:00	90.07
04:00	88.19
Total	724.76

*Tabla 20. Energía Valle diaria consumida en la colonia*

Energía demanda en el periodo Resto (kWh)	
Hora	Potencia
05:00	93.29
06:00	71.15
07:00	165.26
08:00	177.59
09:00	137.93
10:00	128.57
11:00	127.32
12:00	139.47
13:00	122.40
14:00	116.51
15:00	120.57
16:00	136.50
17:00	319.05
Total	1855.58

*Tabla 21. Energía Resto diaria consumida en la colonia*

Con las tablas de energía diaria consumida en cada uno de los horarios se obtiene la energía mensual demandada por la colonia.

<b>ENERGÍA TOTAL DEMANDADA POR LA COLONIA WHITTINGHAM</b>		
	Diaria (kWh)	Mensual (kWh)
Punta	1703.86	51115.80
Valle	724.76	21742.65
Resto	1855.58	55667.40
<b>Total</b>	<b>4284.20</b>	<b>128525.85</b>

*Tabla 22. Energía total diaria y mensual consumida en la colonia*

## 6.2.2 ESTUDIO DE COSTOS DE ENERGÍA

Para el estudio de costos de energía se aplican los precios de energía eléctrica a trasladarse a las tarifas de las distintas empresas distribuidoras, con vigencia desde el 15 de octubre de 2022 al 14 de enero de 2023. El caso de la potencia demandada por la colonia, se asume un factor de costo igual al costo por demanda estipulado en el pliego tarifario para usuarios finales publicado por la SIGET en el mismo periodo de vigencia.

**PRECIOS DE LA ENERGÍA A TRASLADAR A TARIFAS  
VIGENTES DESDE EL 15 DE OCTUBRE DE 2022 HASTA EL 14 DE ENERO DE 2023\***

Banda	CAESS	DELSUR	AES CLESA	EEO	DEUSEM	B&D	EDESAL	ABRUZZO	PROMEDIO
	US\$/MWh								
Punta	147.205069	149.374769	157.189223	153.881421	162.300272	131.831074	159.672148	123.720590	151.373624
Resto	136.738413	131.661950	128.174504	127.330646	130.925792	128.083660	130.764603	170.298943	132.349499
Valle	157.708017	159.403803	163.374135	164.399482	172.645144	163.221027	168.439184	82.384806	161.463259
<b>Total</b>	<b>143.166797</b>	<b>141.818327</b>	<b>143.559638</b>	<b>143.307713</b>	<b>149.472616</b>	<b>137.051156</b>	<b>148.080709</b>	<b>155.991907</b>	<b>143.134559</b>

\* De acuerdo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 43/2022; el cargo por energía se mantiene sin variación respecto al trimestre anterior.

*Figura 79. Los precios de energía eléctrica a trasladarse a las tarifas de las distintas empresas distribuidoras, con vigentes del 15 de octubre de 2022 al 14 de enero de 2023*

<b>COSTO DE LA ENERGÍA TOTAL DEMANDADA POR LA COLONIA WHITTINGHAM</b>			
	Diario (\$)		Mensual (\$)
Resto	\$ 253.73	\$	7,611.87
Punta	\$ 250.82	\$	7,524.50
Valle	\$ 114.30	\$	3,428.99
Distribución		\$	3,228.26
Comercialización		\$	-
Sub total		\$	21,793.63
IVA		\$	2,833.17
<b>Total, mensual</b>		<b>\$</b>	<b>24,626.80</b>

*Tabla 23. Costo de la energía diaria y mensual consumida en la colonia*

## **6.3 REGULACIÓN Y LEGISLACIÓN ACTUAL**

### **6.3.1 Regulación para los BESS**

Actualmente no existe una legislación la cual regule o establezca parámetros de instalación de sistemas de almacenamiento para baterías ion litio en El Salvador, existen protocolos a seguir para las baterías o acumuladores los cuales estén formando parte de un sistema completo de generación de energía dichos protocolos son los siguientes:

**UL 1989** El cual es un estándar para las baterías de uso en aplicaciones estacionarias, este estándar cubre baterías ventiladas, baterías cerradas, baterías de energía e iluminación de emergencia, entre otras.[51].

**UL 2054** El cual cubre los tipos de baterías de uso doméstico o comercial no recargables y recargables[52].

Como se menciona en el alcance de este estándar los requisitos son posibles riesgos cuando se utilizan este tipo de baterías, también hace mención que esta norma solo cubre baterías que sean ventiladas o reguladas por válvula de electrolito y las baterías de litio están fuera del objetivo de esta norma.

El NEC establece artículos como el NEC 480 el cual establece lineamientos para las baterías de los sistemas fotovoltaicos.

La norma UNE EN 50272-2 establece los requisitos de seguridad mínimo que deben tenerse presentes para la instalación de baterías[53].

### **6.3.2 Regulación para los SFV**

En la actualidad la industria, pequeños comercios o simplemente cualquier persona que pueda costear una instalación fotovoltaica lo hace con la finalidad de contribuir al desarrollo sostenible y también con la finalidad de obtener el beneficio de ahorrar en su factura por energía consumida.

La norma UPR, la cual tiene vigencia desde el pasado 11 de octubre de 2017, es la que establece todos los procedimientos y requisitos para los productores de energía que se basa en recursos renovables, los cuales lo hagan con el fin de abastecer su demanda interna e inyectar excedentes de energía a la red de forma eventual[54].

### **6.3.3 Regulación para los operadores de la red**

Según el reglamento general de electricidad el capítulo II establece y define en 21 artículos correspondientes al régimen para desarrollar actividades ya sea de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.

De una forma general, se describen en tres secciones:

Sección I, es la que describe los procedimientos a seguir para las concesiones que no son más que otorgamientos que se le da al interesado para la explotación del recurso (esta ley solamente describe recurso hidráulico y geotérmico), los datos y estudios de factibilidad que debe presentar el interesado a la SIGET.

Sección II, establece que la SIGET podrá otorgarle, a solicitud del interesado, permisos para estudio de generación.

Sección III, la cual contempla todo lo relacionado con la interconexión, las obligaciones de los transmisores y distribuidores y reportes e informes SEMESTRALES que deben presentar los distribuidores a la SIGET, el contenido de dichos informes se detalla en el artículo 32 de la Ley General de Electricidad[55].

Normas aplicables en El Salvador:

Norma UPR, Usuarios Finales Productores de Energía Eléctrica con Recursos Renovables, aplicable a productores menores de 100KW.

Guía GDR la cual está diseñada para los interesados en integrarse en realizar proyectos de generación distribuida renovable y menores de 20MW.

Reglamento de Operaciones del Sistema de Transmisión y Mercado Mayorista Basado en Costos de Producción (ROBCP) este reglamento aplicable en el mercado mayorista para productores mayores de 5MW [56].

### **6.3.4 Comercialización de energía**

El proyecto está desarrollado desde el punto de vista de un comercializador de energía, este comercializador se encarga de comprar la energía a la red eléctrica a precios regidos por la ley, la energía es entregada al comercializador por periodos y se cobra también la potencia demandada y el cargo por distribución. El comercializador revende esta energía a los usuarios finales de la colonia según precios establecidos por la ley para usuarios finales.

Con la implementación del SVF y el BESS, el comercializador pretende convertirse en un Generador, la generación fotovoltaica se inyecta en periodo Resto a la colonia y se cobra a los usuarios finales, según los precios establecidos por la ley para usuarios finales. De los excedentes de generación fotovoltaica, una parte se utiliza para cargar el BESS y la otra parte se inyecta a la red a un precio acordado entre Generador-Distribuidora, este precio generalmente es el precio establecido por la ley dado a las empresas distribuidoras para posteriormente trasladarse a las tarifas de usuarios finales menos un 20% o 25%. La venta de excedentes de generación no está regida por la legislación actual del país, las condiciones y sanciones establecidas en el contrato deben ser de común acuerdo entre Generador y Distribuidor. Al ser inscrito como un Generador, el sistema fotovoltaico no tiene límite de potencia instalada, como es el caso de los UPR, por lo que se diseña el SFV de tal manera que pueda abastecer el 100% de la demanda de la colonia.

El BESS se ha desarrollado para la aplicación Peak Shaving en la curva de demanda de la colonia, esto para reducir la factura por potencia demandada a la red, ya que el pico de demanda se da en horas que el sistema fotovoltaico no puede suplir esta demanda.

El SFV posee una potencia pico de 1.012kWp, al ser esta una potencia inferior a 5MWp, el proyecto se debe inscribir al mercado minorista o mercado de distribución.

El rol de la planta fotovoltaica más BESS estará adherido a las políticas de comercialización de SIGET. En relación a lo referente de la determinación del nivel tarifario, el objetivo general es la realización de un contrato con la distribuidora de energía, para la asignación de un pliego tarifario en específico.

## 6.4 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS CON LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y LA COLONIA

Para llevar a cabo la aplicación de Peak Shaving, los sistemas deben funcionar de tal forma que todas las actividades y los tiempos de ejecución de esas actividades, estén perfectamente controladas para que la energía llegue al lugar y en el momento que se necesiten. También se debe colocar un sistema de medición de energía para llevar un control de la cantidad de energía que se inyecta o consume, así como la facturación mensual de esta.

### 6.4.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS QUE COMPONEN EL BESS

El sistema fotovoltaico se encarga de generar la energía necesaria para abastecer la mayoría de la demanda energética durante el periodo Resto, la otra parte de la demanda, que el SFV no pueda abastecer, será suplida por la red, así mismo durante el periodo Resto, en las horas de mayor producción solar, se inyecta energía a la red y al BESS.

Durante el periodo Resto ocurren los siguientes escenarios, primero, el SFV inyecta la energía a la colonia desde la primera hora de generación, si durante esa hora, la demanda es superior que la generación de energía solar, se demanda de la red la energía restante, en la última hora de generación se aplica exactamente lo mismo. Segundo, se programa el BESS para que aproveche las horas de máxima producción solar para cargarse (9:30am- 14:30pm). Es la EMS del

BESS quien se encarga de programar la hora de carga, así como también el régimen de potencia de carga que el BESS necesita. Los periodos de carga y descarga, las formas de descargar las baterías según la demanda, la aplicación que desempeña el BESS (en este caso Peak Shaving) y el constante monitoreo de todos los elementos del BESS para garantizar su funcionamiento optimo, son tareas exclusivas del EMS y otros sistemas como el BMS que se programan en el BESS al momento de su puesta en marcha.

Durante el periodo Valle, el SFV ya no inyecta energía fotovoltaica a la colonia ni a la red, al contrario, los equipos que están funcionando en vacío están consumiendo energía de la red. El BESS debe estar programado para empezar la etapa de descarga a las 4:30pm y finalizar a las 10:30pm, el régimen de descarga del BESS debe programarse, mediante la unidad EMS, de tal manera que se adapte a la curva de demanda del pico. La energía demandada en este periodo proviene de la red de distribución, a excepción de la energía inyectada por el BESS.

Durante el periodo Punta, toda la energía que consume la colonia y el SFV en vacío, son demandadas de la red de distribución.

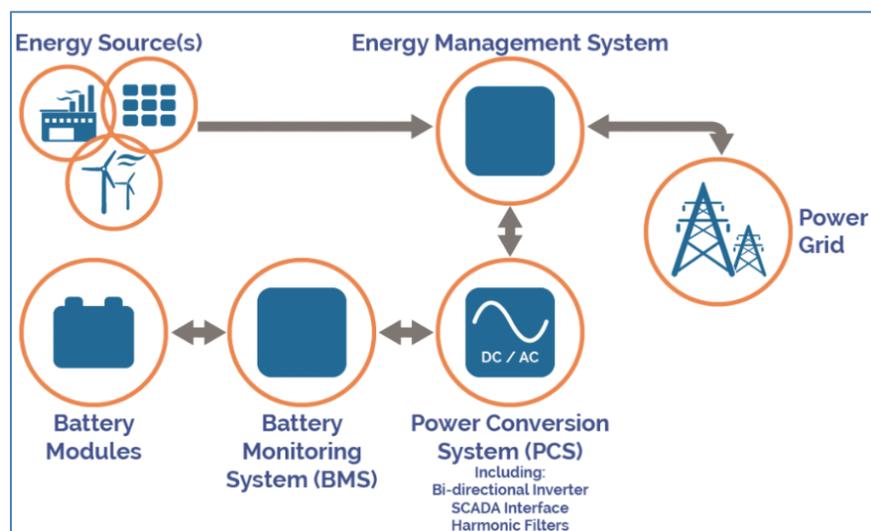


Figura 80. Esquema de funcionamiento del sistema BESS[57]

#### 6.4.2 INTERCONEXIÓN DE LOS SISTEMAS Y MEDICIÓN DE ENERGÍA

La medición de energía en el punto de interconexión se lleva a cabo mediante dos medidores bidireccionales con capacidad de medir energía en los tres periodos de demanda establecidos. El primer medidor se coloca en la salida del SFV, justo antes del punto de interconexión, este medidor guarda los datos de la energía generada por el sistema fotovoltaico y también la energía consumida por el SFV, durante la noche cuando los equipos y el transformador funcionan en vacío.

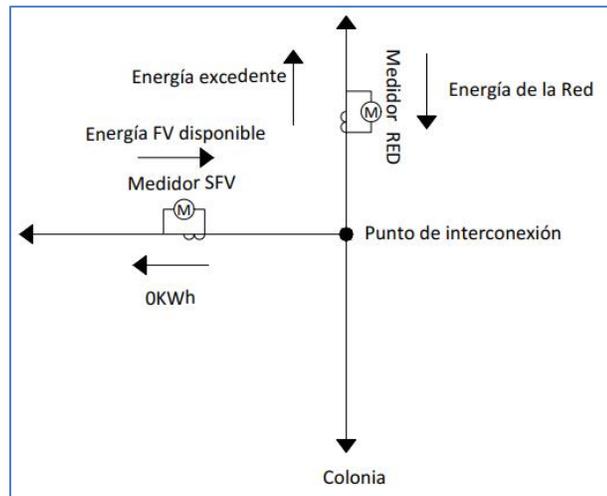
El segundo medidor se coloca en el lado de la red de distribución, justo antes del punto de interconexión, este medidor se encarga de medir la energía que se inyecta a la red, proveniente del SFV y también guarda los datos de consumo de energía de la colonia durante cada uno de los periodos.

Con estos dos medidores se puede guardar toda la información necesaria para realizar la facturación mensual de venta y consumo de energía en la colonia, ya que los datos que se necesitan saber son: Energía FV inyectada a la colonia, Energía inyectada a la red (excedentes), Energía demandada de la red y Energía consumida por el SFV.

- **Flujo de energía y facturación en el periodo Resto**

En el esquema de la figura 81 se observa el flujo de energía durante el periodo Resto, en el punto de interconexión con la red. Durante el periodo Resto el SFV, luego de entregar parte de esta energía al BESS, abastece la mayoría de la demanda de la colonia, mientras que los excedentes son entregados a la red. La energía que no pueda entregar el SFV a la colonia, principalmente durante las primeras y las ultimas horas del periodo Resto, será demandada a la red y será medida

por el medidor bidireccional colocado en el lado de la red de distribución. Para conocer la energía inyectada a la colonia, basta con restar los excedentes de energía, de la energía entregada por el SFV, ya que estos datos se conocen, pues son registrados por los medidores respectivos.



*Figura 81. Esquema del flujo y medición de la energía en el periodo Resto*

- **Flujo de energía y facturación en el periodo Valle**

Durante el periodo Valle, La energía almacenada por el BESS se inyecta para suplir parte de la demanda del pico generado durante las últimas horas del periodo Resto y las primeras horas del periodo Valle, para este periodo los equipos del SFV ya están funcionando en vacío, por lo que este medidor también registra la energía consumida por el SFV. En el medidor de la red solamente se registra la energía consumida ya que en este horario no hay inyección de excedentes de energía FV a la red.

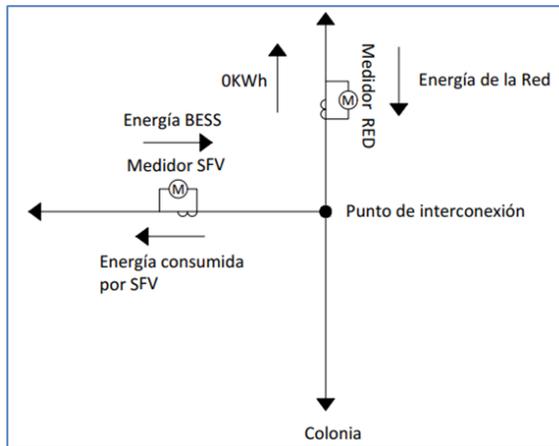


Figura 82. Esquema del flujo y medición de la energía en el periodo Valle

- **Flujo de energía y facturación en el periodo Punta**

En el periodo punta ya no se registra inyección de energía por parte del BESS, ya que este solo funciona en el periodo que se genera el pico de demanda (16:00pm-22:00pm). El medidor del SFV solamente registra la energía que éste está consumiendo y el medidor de la red eléctrica solamente registra la energía que se está demandando por la colonia y el SFV juntos. Para conocer el consumo de energía de la colonia en este periodo basta con restar la energía registrada en el medidor del SFV de la energía registrada por el medidor de la red eléctrica.

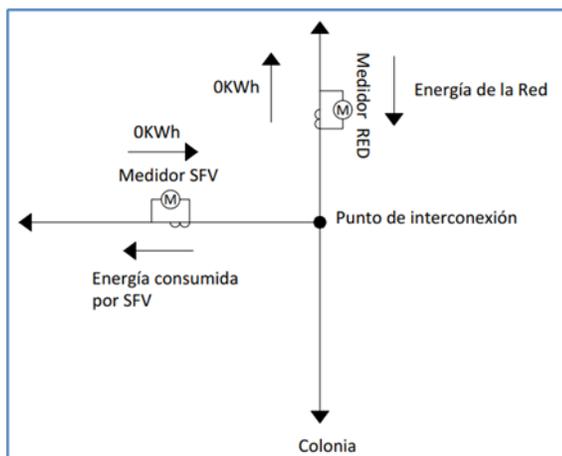


Figura 83. Esquema del flujo y medición de la energía en el periodo Punta

## 6.5 ANÁLISIS DE AHORRO MENSUAL DE LOS SISTEMAS

El propósito de este análisis es determinar cuál de los sistemas presenta más ahorros en la factura mensual y, por ende, más ingresos mensuales. Para ello se utilizan los resultados obtenidos mediante la simulación realizada en la sesión 5.3.2, se presentan los promedios de energía por hora de cada uno de los meses del año, con estos datos se puede estimar cual será la energía producida por el sistema para cada hora del día y para cada mes del año.

### 6.5.1 AHORRO ENERGÉTICO DEBIDO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL SFV

Con los datos mensuales de generación para cada hora del día obtenidos de la simulación de PVSyst, podemos estimar el ahorro de energía diario que se verá reflejado en la facturación mensual de la colonia.

GENERACIÓN PROMEDIO POR HORA PARA CADA MES DEL AÑO												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	1	15	62	73	66	53	52	59	58	31	4
07:00	171	177	220	248	241	235	210	214	240	237	249	223
08:00	367	386	432	437	407	397	389	388	416	403	435	441
09:00	520	542	597	586	545	521	541	517	526	547	569	583
10:00	618	681	690	665	632	614	643	614	621	602	643	694
11:00	647	723	727	675	630	597	663	613	634	625	684	715
12:00	644	718	727	685	618	596	664	624	641	621	680	703
13:00	606	691	727	605	547	556	638	594	589	551	627	634
14:00	512	622	615	544	469	466	537	504	513	434	502	519
15:00	373	482	456	402	314	344	405	383	374	291	345	360
16:00	196	263	266	222	170	201	230	222	192	129	140	161
17:00	4	27	54	44	37	52	62	54	17	1	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 24. Generación promedio por hora para cada mes, simulada por PVSyst

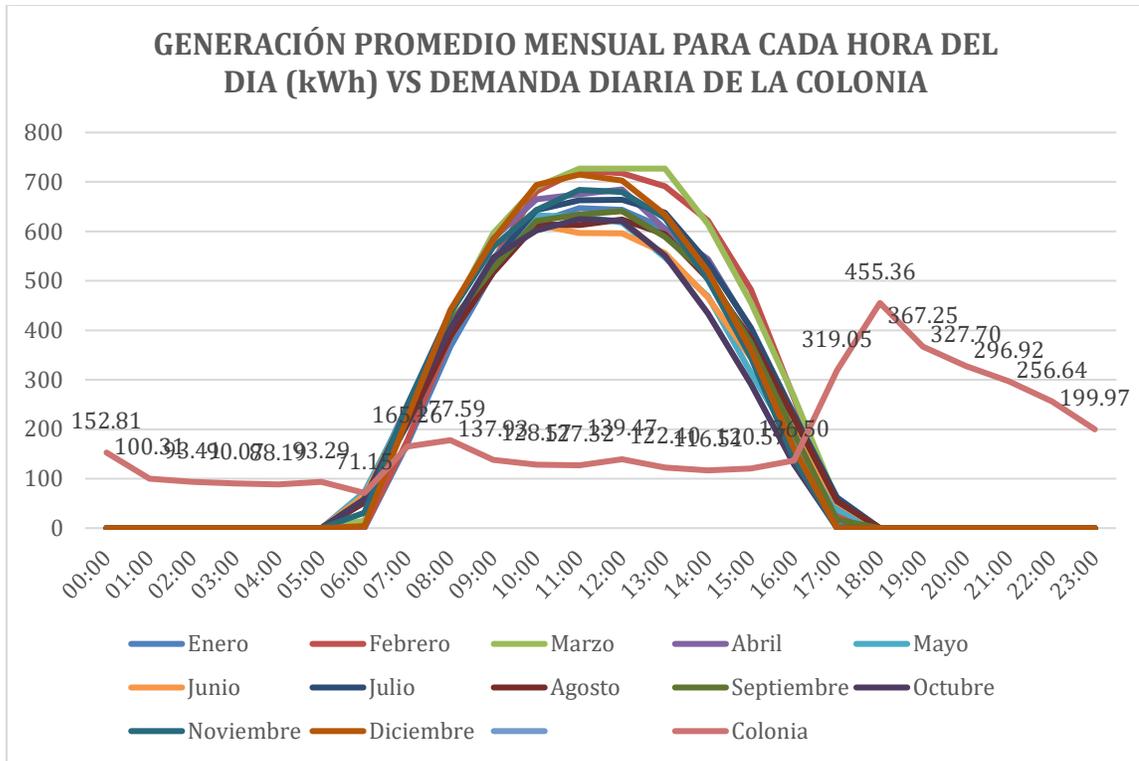


Gráfico 9. Energía promedio de la simulación de PVSyst vs Energía demandada por la colonia.

- **Tabla de ingresos mensuales por la implementación del sistema fotovoltaico**

En la tabla 25, se muestra el resultado del análisis de ahorro y venta de energía excedente a la red, debido a la implementación del sistema fotovoltaico. La columna “Cobro de la distribuidora por la energía servida”, hace referencia a la facturación de energía mensual debido a la energía consumida en los periodos donde los sistemas SFV y BESS, no inyectan energía a la colonia. La columna “Ingreso por la reventa de energía de la distribuidora”, es debido a energía que se compra a la distribuidora y luego se revende a los usuarios de la colonia al precio de usuarios finales según el pliego tarifario. La columna “Ingreso por comercialización de energía del SFV” se

refiere a la venta de energía proveniente del sistema fotovoltaico y que consumen los usuarios de la colonia a precio de usuarios finales según el pliego tarifario. En la penúltima columna “Ingreso por comercializar excedentes de energía proveniente del SFV” hace referencia a la venta de los excedentes de energía FV a la red, esta energía se vende según los precios de energía a trasladar a las distintas empresas distribuidora menos un porcentaje, el cual es 20% o 25% y es de acuerdo mutuo entre generador-distribuidora. La ultima columna, “Ahorro por la disminución de la factura mensual por la energía comprada a la distribuidora”, hace referencia al ahorro de la factura que se obtiene porque ya no se compra la misma cantidad de energía a la distribuidora, por ende la factura será menor y se genera un ahorro mensual.

COBROS E INGRESOS MENSUALES DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FV					
Mes	Cobro de la distribuidora por la energía servida	Ingreso por reventa de la energía de la distribuidora	Ingreso por comercializar la energía del SFV	Ingreso por comercializar los excedentes de energía del SFV	Ahorro por la disminución de la factura mensual por la energía comprada a la distribuidora
Enero	\$ 18,899.56	\$ 21,257.17	\$ 9,641.37	\$ 12,412.80	\$ 5,727.24
Febrero	\$ 18,788.31	\$ 21,089.51	\$ 9,809.04	\$ 14,752.76	\$ 5,838.49
Marzo	\$ 18,598.26	\$ 20,803.08	\$ 10,095.46	\$ 15,390.60	\$ 6,028.54
Abril	\$ 18,426.75	\$ 20,544.59	\$ 10,353.95	\$ 13,951.76	\$ 6,200.05
Mayo	\$ 18,408.20	\$ 20,516.65	\$ 10,381.89	\$ 12,112.42	\$ 6,218.59
Junio	\$ 18,371.12	\$ 20,460.76	\$ 10,437.78	\$ 11,941.84	\$ 6,255.68
Julio	\$ 18,371.12	\$ 20,460.76	\$ 10,437.78	\$ 11,941.84	\$ 6,255.68
Agosto	\$ 18,385.03	\$ 20,481.72	\$ 10,416.82	\$ 13,399.22	\$ 6,241.77
Septiembre	\$ 18,426.75	\$ 20,544.59	\$ 10,353.95	\$ 12,483.26	\$ 6,200.05
Octubre	\$ 18,565.81	\$ 20,754.18	\$ 10,144.37	\$ 12,753.97	\$ 6,060.99
Noviembre	\$ 18,774.40	\$ 21,068.55	\$ 9,829.99	\$ 13,228.63	\$ 5,852.39
Diciembre	\$ 18,899.56	\$ 21,257.17	\$ 9,641.37	\$ 13,818.26	\$ 5,727.24

*Tabla 25. Ingresos mensuales en la colonia Whittingham con la implementación del SFV*

## 6.5.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ALMACENAMIENTO

Al implementar un sistema de almacenamiento acoplado al sistema fotovoltaico, se debe de analizar de donde se tomará la energía para almacenarla en el BESS, las dos alternativas más viables son las siguientes:

## A) ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PROVENIENTE DE LA RED

En este caso se almacena la energía servida por la red de distribución en horarios donde la energía es más barata, para poder utilizarla después cuando la energía sea más cara o en una aplicación específica del sistema de almacenamiento, por ejemplo, Peak Shaving. Esta opción se vuelve menos atractiva en un país como El Salvador, donde la diferencia de precios de energía entre cada periodo tiene poca variación, por eso esta alternativa es descartada para el análisis mediante los siguientes criterios:

- La variación de precios entre las tarifas, apenas alcanzan el 15% entre los periodos con la tarifa de menor y mayor precio.
- En el pliego tarifario analizado en este estudio se muestra que el periodo en donde la energía es más barata es el periodo Resto. Si se requiere cargar el BESS en el periodo donde la energía es más barata, este entonces, sería el periodo Resto, sin embargo, sería poco conveniente cargar las baterías de la red en el periodo resto, teniendo en este mismo periodo disponible los excedentes de energía fotovoltaica.

## B) ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PROVENIENTE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se almacena la energía desde el sistema fotovoltaico, para posteriormente utilizarla en la aplicación específica que el sistema de almacenamiento desempeña, en este caso particular, el Peak Shaving. La simulación de PVSyst indica que los excedentes de energía fotovoltaica generada son abundantes y se pueden aprovechar para cargar las baterías.

- **Ahorro en la factura mensual debido a la implementación del sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía**

En la tabla 26, se nota una diferencia en los resultados de todas las columnas, si las comparamos con la tabla 25. En La columna “Cobro de la distribuidora por la energía consumida”, se nota un decremento en el monto a pagar a la distribuidora por la energía consumida, esto se debe a que toda la energía que se almacena en el BESS proviene ahora, del sistema FV y se entrega a la colonia, esta energía ya no es la distribuidora quien la factura, sino que el comercializador. La columna “Ingreso por comercialización de energía de la distribuidora”, este ingreso tiene un decremento debido a que la energía demandada de la red es menor, entonces los ingresos por la reventa de esta energía a los usuarios finales de la colonia también serán menores. La columna “Ingreso por comercialización de energía FV”, este ingreso presenta un incremento, esto es debido a que la energía FV almacenada en el BESS ahora se inyecta a la colonia en el periodo que se genera el pico de demanda, esta energía, ahora es facturada por el comercializador. La penúltima columna “Ingreso por comercializar excedentes de energía FV”, también presenta una disminución, ya que los excedentes de energía FV ahora son menores porque parte de estos, son utilizados para almacenar la energía en el BESS. La ultima columna, “Ahorro por la disminución de la factura mensual por la energía comprada a la distribuidora”, presenta un incremento, esto debido a que la energía requerida de la red, ahora es menor, ya que el sistema de almacenamiento inyecta energía a la colonia para recortar el pico de demanda, esta energía en el caso anterior, era proporcionada por la red.

COBROS E INGRESOS MENSUALES DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FV CON ALMACENAMIENTO					
Mes	Cobro de la distribuidora por la energía servida	Ingreso por reventa de la energía de la distribuidora	Ingreso por comercializar la energía del SFV	Ingreso por comercializar los excedentes de energía del SFV	Ahorro por la disminución de la factura mensual por la energía comprada a la distribuidora
Enero	\$ 12,665.94	\$ 15,295.63	\$ 15,602.91	\$ 9,248.28	\$ 11,960.85
Febrero	\$ 12,554.69	\$ 15,127.96	\$ 15,770.58	\$ 11,588.25	\$ 12,072.10
Marzo	\$ 12,364.64	\$ 14,841.54	\$ 16,057.00	\$ 12,226.08	\$ 12,262.16
Abril	\$ 12,193.13	\$ 14,583.05	\$ 16,315.49	\$ 10,787.24	\$ 12,433.67
Mayo	\$ 12,174.59	\$ 14,555.11	\$ 16,343.43	\$ 8,947.90	\$ 12,452.21
Junio	\$ 12,137.51	\$ 14,499.22	\$ 16,399.32	\$ 8,777.32	\$ 12,489.29
Julio	\$ 12,137.51	\$ 14,499.22	\$ 16,399.32	\$ 8,777.32	\$ 12,489.29
Agosto	\$ 12,151.41	\$ 14,520.18	\$ 16,378.36	\$ 10,234.70	\$ 12,475.39
Septiembre	\$ 12,193.13	\$ 14,583.05	\$ 16,315.49	\$ 9,318.74	\$ 12,433.67
Octubre	\$ 12,332.19	\$ 14,792.63	\$ 16,105.91	\$ 9,589.45	\$ 12,294.60
Noviembre	\$ 12,540.79	\$ 15,107.01	\$ 15,791.53	\$ 10,064.12	\$ 12,086.01
Diciembre	\$ 12,665.94	\$ 15,295.63	\$ 15,602.91	\$ 10,653.74	\$ 11,960.85

Tabla 26. Ingresos mensuales en la colonia Whittingham con la implementación del SFV

+ BESS

#### 6.5.5 RESUMEN DE AHORROS DE ENERGÍA Y FACTURACIÓN MENSUAL PARA CADA SISTEMA

En la tabla 27, se compara los ingresos mensuales netos generados por SFV, con los ingresos netos generados por el SFV más el BESS, se puede apreciar que el ingreso mensual por la implementación del sistema fotovoltaico se encuentra entre los \$30,000 y \$32,000. Si agregamos un sistema de almacenamiento al SFV, este ingreso mensual incrementa en \$9,302.72 mensualmente. Este dato es constante debido a que existen excedentes de energía suficientes para cargar el BESS, por lo que siempre se almacena y entrega la misma cantidad de energía asumiendo que el consumo diario de la colonia se mantiene constante. En las siguientes secciones de este capítulo se determina si este ingreso mensual justifica la implementación del BESS junto al SFV.

En secciones anteriores se habla del consumo de energía del sistema fotovoltaico durante la noche, cuando este trabaja en vacío. Este monto mensual a pagar a la distribuidora se coloca como un gasto mensual del proyecto y se ha estimado con un valor mensual de \$400, con

referencias de consumo de una planta fotovoltaica del país. Este monto se coloca directamente en las tablas de análisis de factibilidad financiera.

<b>INGRESOS MENSUALES POR LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FV Y SISTEMA FV CON ALMACENAMIENTO</b>		
<b>Mes</b>	<b>Total de ingreso por implementación del SFV</b>	<b>Total de ingreso por implementación del SFV con almacenamiento</b>
Enero	\$ 30,139.01	\$ 39,441.73
Febrero	\$ 32,701.48	\$ 42,004.20
Marzo	\$ 33,719.42	\$ 43,022.14
Abril	\$ 32,623.61	\$ 41,926.32
Mayo	\$ 30,821.35	\$ 40,124.06
Junio	\$ 30,724.93	\$ 40,027.65
Julio	\$ 32,154.50	\$ 41,457.21
Agosto	\$ 31,155.10	\$ 40,457.82
Septiembre	\$ 31,147.68	\$ 40,450.40
Octubre	\$ 29,855.33	\$ 39,158.04
Noviembre	\$ 31,205.16	\$ 40,507.88
Diciembre	\$ 31,544.48	\$ 40,847.19

*Tabla 27. Ingresos mensuales en la colonia Whittingham con la implementación del SFV*

*+ BESS.*

## 6.6 PRESUPUESTO GENERAL DE LOS SISTEMAS

### 6.6.1 PRESUPUESTO GENERAL PARA EL SFV SOBRE SUELO

ítem	Cantidad	Unidad	Especificaciones Técnicas	Precio Unitario con IVA	Precio Total
<b>1.00</b>			<b>MODULOS FOTOVOLTAICOS</b>		
1.01	1760	u	Panel fotovoltaico: Modulo fotovoltaico modelo Tiger Neo N-type 72HL4-(V) de la marca Jinko Solar. Incluye conexión a string	\$ 155.00	\$ 272,800.00
1.02	950	m2	Estructura de tubo cuadrado metalico, con riel struct, para montaje de panel fotovoltaico, incluye tornilleria, Aislamiento flexible de espuma elastomérica. Incluye hinca de pilotes para construccion de mesas	\$ 123.89	\$ 117,695.50
1.03	1	sg	Etiquetado de 20 string por inversor, positivo y negativo, en ambos extremos del cada cable, etiquetadora debe ser considerada junto con su cinta. Para 8 inversores	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
1.04	1	sg	Arrendamiento de terreno por año, para instalacion de panel fotovoltaico. Hasta 1.0 ha.	\$ 2,250.00	\$ 2,250.00
<b>2.00</b>			<b>CABLEADO DC</b>		
2.01	4062	m	Instalación de cable 2 calibre #10 AWG + 1 calibre #12 AWG 240V para formar 4 string hacia los inversores. (desde latiguillo de panel hasta inversor)	\$ 8.35	\$ 33,917.70
2.02	160	u	Instalación de portafusibles de línea.	\$ 9.95	\$ 1,592.00
2.03	320	u	Instalación de conectores MC4.	\$ 8.89	\$ 2,844.80
2.04	875	u	Instalación de tubería EMT, en riel strut (incluir sello y aplicar para las perforaciones que se hagan para su instalación).	\$ 15.98	\$ 13,982.50
2.05	475	m	Instalación de tubería 1" Con sus respectivos asesorios de conexión	\$ 12.45	\$ 5,913.75
400	1	sg	Colocación de cinchos plásticos para acomodar el cable CC donde aplique.	\$ 900.00	\$ 900.00
2.07	685	u	Instalacion de bandeja portacable tray sobre techo y pared. Según el detalle siguiente	\$ 15.28	\$ 10,466.80
2.08	435	m	Bandeja de 200x50mm	\$ 17.75	\$ 7,721.25
2.09	1	sg	Etiquetado de string, positivo y negativo, en ambos extremos del cada cable, etiquetadora debe ser considerada junto con su cinta.	\$ 300.00	\$ 300.00
<b>3.00</b>			<b>CUARTO ELECTRICO</b>		
3.01	1	sg	Construccion de obra civil, cuarto electrico. Area de construccion: 35m2, piso con grava #4.	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00
3.01	1	sg	Suministro y Montaje de panel de distribución un CB de 600 A / 3P, 20 kA ABB modelo T7S 800 PR231 480V CON protecciones termomagnéticos 6, tablero autosoportado de 2200x600x600 mm IP 64, CEMAR	\$ 5,125.65	\$ 5,125.65
3.02	4	sg	Conexión eléctrica desde los inversores hasta las protecciones termomagnéticos.	\$ 535.00	\$ 2,140.00
<b>4</b>			<b>TRANSFORMADOR</b>		
4.01	1	sg	Transformador de 1 MVA Pad mounted. Incluye conectores, Pararrayo tipo bota y todos los accesorios necesarios	\$ 74,375.23	\$ 74,375.23
4.02	1	sg	Construcción de pozo de registro para el transformador.	\$ 2,275.00	\$ 2,275.00
4.03	1	sg	Construcción de losa para el montaje transformador.	\$ 1,801.45	\$ 1,801.45
4.04	1	sg	Construcción de trampa de aceite para el transformador.	\$ 960.00	\$ 960.00
4.05	1	sg	Conexión eléctrica de baja y alta tensión.	\$ 3,458.00	\$ 3,458.00

<b>5</b>			<b>ACOMETIDA SUBTERRANEA</b>		
5.01	1	sg	Instalación de poste centrifugado de 40' con su medición primaria y sus protecciones (cortacircuito y pararrayos Puesta a tierra) según estándar de construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica de SIGET 23MPS3.	\$ 3,900.00	\$ 3,900.00
5.02	15	m	Instalación de cable de potencia XLPE #2 AWG y sus terminales de potencia.	\$ 215.59	\$ 3,233.85
5.03	135	m	Instalación de acometida eléctrica primaria trifásica compuesta por 3 ACSR#1/0.	\$ 65.45	\$ 8,835.75
<b>6</b>			<b>RED DE TIERRA</b>		
6.01	1	sg	Unión equipotencial de los módulos a través de earth lug con cable THHN #10 AWG	\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
6.02	1	sg	Red de tierra, cable desnudo #2, 20 metros como perímetro, con 4 barras cooperweld de 10 ft, 5/8", con soldadura exotérmica.	\$ 500.00	\$ 500.00
6.03	5	m	Instalación de cable de puesta a tierra de transformador a la red de tierra con cable #2 AWG.	\$ 10.00	\$ 50.00
6.04	5	m	Instalación de cable de puesta a tierra del panel de distribución a la red de tierra con cable #2 AWG.	\$ 15.00	\$ 75.00
<b>7</b>			<b>COMUNICACIONES</b>		
7.01	150	m	Instalación de cable de comunicación UTP, en tubería EMT 3/4" y coraza LT para módulo de comunicación en cuarto eléctrico	\$ 5.75	\$ 862.50
<b>8.00</b>			<b>INVERSORES</b>		
8.01	8	u	Inversor Solis-100k-5G-US de la marca Solis.	\$ 5,435.00	\$ 43,480.00
8.02	1	sg	Conexión eléctrica de string en los inversores	\$ 2,680.00	\$ 2,680.00
8.03	8	u	Conexión eléctrica AC de los 8 inversores hacia el caja de registro	\$ 425.95	\$ 3,407.60
<b>9.00</b>			<b>CABLEADO AC</b>		
9.01	480	m	Instalación de cable AWG, 1 AWG 1/0 P/F + 1 AWG 1/0 P/N + 1 THHN #4 P/T Ø 4" EMT 240V de inversor a gabinete eléctrico. Incluye 1 tubo de reserva de Ø 4"	\$ 17.25	\$ 8,280.00
9.02	1	sg	Etiquetado de cable AC.	\$ 150.00	\$ 150.00
<b>10.00</b>			<b>RED DE TIERRA</b>		
10	1	sg	Unión equipotencial de los módulos a través de earth lug con cable THHN #12 AWG	\$ 2,450.00	\$ 2,450.00
10	1	sg	Red de tierra, cable desnudo #2, 20 metros como perímetro, con 4 barras cooperweld de 10 ft, 5/8", con soldadura exotérmica.	\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
<b>11.00</b>			<b>ESTRUCTURA PARA GABINETE PRINCIPAL</b>		
11.01	1	u	Construcción de estructura para montar gabinete principal	\$ 900.00	\$ 900.00
			<b>Costos Directos</b>	<b>\$ 647,624.33</b>	
			<b>COSTO INDIRECTO ( 30% )</b>	<b>\$ 194,287.30</b>	
			<b>Sub total</b>	<b>\$ 841,911.62</b>	
			<b>IVA 13%</b>	<b>\$ 109,448.51</b>	
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 951,360.13</b>	

Tabla 28. Presupuesto general para el sistema fotovoltaico sobre suelo

Costo por Watts Instalado (WI)

$$Precio_{WI} = \frac{\text{Costo total } (\$)}{\text{Potencia Instalada } (W)} \quad Precio_{WI} = \frac{\$951,360.13}{1,012,000W}$$

$$Precio_{WI} = \$ 0.9401$$

El presupuesto del sistema fotovoltaico se ha realizado con base a precios actuales del mercado. Para el área de implementación, se ha considerado el arrendamiento del terreno a fin de obtener una inversión inicial moderada.

## 6.6.2 PRESUPUESTO GENERAL PARA EL SFV CON BESS

ítem	Cantidad	Unidad	Especificaciones Técnicas	Precio Unitario con IVA	Precio Total
<b>1.00</b>			<b>MODULOS FOTOVOLTAICOS</b>		
1.01	1760	u	Panel fotovoltaico: Modulo fotovoltaico modelo Tiger Neo N-type 72HL4-(V) de la marca Jinko Solar. Incluye conexión a string	\$ 155.00	\$ 272,800.00
1.02	950	m2	Estructura de tubo cuadrado metalico, con riel struct, para montaje de panel fotovoltaico, incluye tornilleria, Aislamiento flexible de espuma elastomérica. Incluye hinca de pilotes para construccion de mesas	\$ 123.89	\$ 117,695.50
1.03	1	sg	Etiquetado de 20 string por inversor, positivo y negativo, en ambos extremos del cada cable, etiquetadora debe ser considerada junto con su cinta. Para 8 inversores	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
1.04	1	sg	Arrendamiento de terreno por año, para instalacion de panel fotovoltaico. Hasta 1.0 ha.	\$ 2,250.00	\$ 2,250.00
<b>2.00</b>			<b>CABLEADO DC</b>		
2.01	4062	m	Instalación de cable 2 calibre #10 AWG + 1 calibre #12 AWG 240V para formar 4 string hacia los inversores. (desde latiguillo de panel hasta inversor)	\$ 8.35	\$ 33,917.70
2.02	160	u	Instalación de portafusibles de línea.	\$ 9.95	\$ 1,592.00
2.03	320	u	Instalación de conectores MC4.	\$ 8.89	\$ 2,844.80
2.04	875	u	Instalación de tubería EMT, en riel strut (incluir sello y aplicar para las perforaciones que se hagan para su instalación).	\$ 15.98	\$ 13,982.50
2.05	475	m	Instalación de tubería 1" Con sus respectivos asesorios de conexión	\$ 12.45	\$ 5,913.75
400	1	sg	Colocación de cinchos plásticos para acomodar el cable CC donde aplique.	\$ 900.00	\$ 900.00
2.07	685	u	Instalacion de bandeja portacable tray sobre techo y pared. Según el detalle siguiente	\$ 15.28	\$ 10,466.80
2.08	435	m	Bandeja de 200x50mm	\$ 17.75	\$ 7,721.25
2.09	1	sg	Etiquetado de string, positivo y negativo, en ambos extremos del cada cable, etiquetadora debe ser considerada junto con su cinta.	\$ 300.00	\$ 300.00
<b>3.00</b>			<b>CUARTO ELECTRICO</b>		
3.01	1	sg	Construccion de obra civil, cuarto electrico. Area de construccion: 35m2, piso con grava #4.	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00
3.01	1	sg	Suministro y Montaje de panel de distribución un CB de 600 A / 3P, 20 kA ABB modelo T7S 800 PR231 480V CON protecciones termomagnéticos 6, tablero autosoportado de 2200x600x600 mm IP 64, CEMAR	\$ 5,125.65	\$ 5,125.65
3.02	4	sg	Conexión eléctrica desde los inversores hasta las protecciones termomagnéticos.	\$ 535.00	\$ 2,140.00
<b>4</b>			<b>TRANSFORMADOR</b>		
4.01	1	sg	Transformador de 1 MVA Pad mounted. Incluye conectores, Pararrayo tipo bota y todos los accesorios necesarios	\$ 74,375.23	\$ 74,375.23
4.02	1	sg	Construcción de pozo de registro para el transformador.	\$ 2,275.00	\$ 2,275.00
4.03	1	sg	Construcción de losa para el montaje transformador.	\$ 1,801.45	\$ 1,801.45
4.04	1	sg	Construcción de trampa de aceite para el transformador.	\$ 960.00	\$ 960.00
4.05	1	sg	Conexión eléctrica de baja y alta tensión.	\$ 3,458.00	\$ 3,458.00
<b>5</b>			<b>ACOMETIDA SUBTERRANEA</b>		
5.01	1	sg	Instalación de poste centrifugado de 40' con su medición primaria y sus protecciones (cortacircuito y pararrayos Puesta a tierra) según estándar de construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica de SIGET 23MPS3.	\$ 3,900.00	\$ 3,900.00
5.02	15	m	Instalación de cable de potencia XLPE #2 AWG y sus terminales de potencia.	\$ 215.59	\$ 3,233.85
5.03	135	m	Instalación de acometida electrica primaria trifasica compuesta por 3 ACSR#1/0.	\$ 65.45	\$ 8,835.75

<b>6</b>			<b>RED DE TIERRA</b>		
6.01	1	sg	Unión equipotencial de los módulos a través de earth lug con cable THHN #10 AWG	\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
6.02	1	sg	Red de tierra, cable desnudo #2, 20 metros como perímetro, con 4 barras cooperweld de 10 ft, 5/8", con soldadura exotérmica.	\$ 500.00	\$ 500.00
6.03	5	m	Instalación de cable de puesta a tierra de transformador a la red de tierra con cable #2 AWG.	\$ 10.00	\$ 50.00
6.04	5	m	Instalación de cable de puesta a tierra del panel de distribución a la red de tierra con cable #2 AWG.	\$ 15.00	\$ 75.00
<b>7</b>			<b>COMUNICACIONES</b>		
7.01	150	m	Instalación de cable de comunicación UTP, en tubería EMT 3/4" y coraza LT para modulo de comunicación en cuarto electrico	\$ 5.75	\$ 862.50
<b>8.00</b>			<b>INVERSORES</b>		
8.01	8	u	Inversor Solis-100k-5G-US de la marca Solis.	\$ 5,435.00	\$ 43,480.00
8.02	1	sg	Conexión eléctrica de string en los el inversores	\$ 2,680.00	\$ 2,680.00
8.03	8	u	Conexión eléctrica AC de los 8 inversores hacia el caja de registro	\$ 425.95	\$ 3,407.60
<b>9.00</b>			<b>CABLEADO AC</b>		
9.01	480	m	Instalación de cable AWG, 1 AWG 1/0 P/F + 1 AWG 1/0 P/N + 1 THHN #4 P/T Ø 4" EMT 240V de inversor a gabinete electrico. Incluye 1 tubo de reserva de Ø 4"	\$ 17.25	\$ 8,280.00
9.02	1	sg	Etiquetado de cable AC.	\$ 150.00	\$ 150.00
<b>10.00</b>			<b>RED DE TIERRA</b>		
10	1	sg	Unión equipotencial de los módulos a través de earth lug con cable THHN #12 AWG	\$ 2,450.00	\$ 2,450.00
10	1	sg	Red de tierra, cable desnudo #2, 20 metros como perímetro, con 4 barras cooperweld de 10 ft, 5/8", con soldadura exotérmica.	\$ 1,300.00	\$ 1,300.00
<b>11.00</b>			<b>SISTEMA DE ALMACENAMIENTO</b>		
11	1	sg	Sistema de banco de baterías. Contenedor del sistema de almacenamiento Battery ESS ATEN-250KW	\$173,986.20	\$ 173,986.20
11	1	sg	Construcción de pozo de registro para el Contenedor de almacenamiento.	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
11	1	sg	Construcción de losa para el montaje Contenedor de almacenamiento..	\$ 800.00	\$ 800.00
11	1	sg	Construcción de trampa de aceite o acidos del Contenedor de almacenamiento..	\$ 600.00	\$ 600.00
11.1	1	sg	Conexión eléctrica	\$ 2,685.20	\$ 2,685.20
<b>12.00</b>			<b>ESTRUCTURA PARA MONTAJE DE CONTENEDOR DE BATERIAS</b>		
12	1	u	Construccion de estructura para montar gabinete principal	\$ 950.00	\$ 950.00
				<b>Costos Directos</b>	<b>\$ 827,245.73</b>
				<b>COSTO INDIRECTO ( 25.0%)</b>	<b>\$ 206,811.43</b>
				<b>Sub total</b>	<b>\$ 1,034,057.16</b>
				<b>IVA 13%</b>	<b>\$ 134,427.43</b>
				<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>

Tabla 29. Presupuesto general para el sistema fotovoltaico + BESS

Costo por Watts Instalado (WI)

$$Precio_{WI} = \frac{\text{Costo total (\$)}}{\text{Potencia Instalada (W)}} \quad Precio_{WI} = \frac{\$1,168,484.59}{1,012,000_W}$$

$$Precio_{WI} = 1.1546$$

## 6.7 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para un proyecto con un horizonte de 20 años, las herramientas de análisis más apropiadas son las basadas en el flujo de efectivo. Con la información técnica ya determinada es posible estimar el monto de la inversión inicial, necesaria para la ejecución del proyecto, y los ingresos provendrán del precio de venta de energía. El análisis financiero permite pronosticar o conocer de manera aproximada los valores que se pueden obtener con la ejecución del proyecto.

Los ingresos y egresos son calculados con base de un año

Para el desarrollo del análisis financiero partimos de una fuente de financiamiento. Para los dos escenarios presentados en los presupuestos es necesario definir como, con qué y quien financiará la ejecución de las soluciones presentadas. En este apartado se consideraron dos fuentes de ingreso, una por el propietario y la segunda por financiamiento bancario, por medio de una línea de crédito especial para inversión en energías renovables. Con un plazo de amortización de 10 años.

### 6.7.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Fuentes de Financiamiento		
		<b>SISTEMA SOBRE FOTOVOLTAICOSIN BESS</b>
<b>1.1. FONDOS PROPIOS</b>		<b>MONTO DE LA INVERSION</b>
Aporte del empresario	\$190,272.03	\$ <b>951,360.13</b>
<b>1.3. CREDITOS BANCARIOS</b>		Aporte del empresario
Monto estimado del crédito	\$761,088.11	\$ <b>190,272.03</b>
Tasa de interés del crédito	6.17%	Crédito Banco
Años plazo del crédito (3 meses gracia)	10	\$ <b>761,088.11</b>

<b>2. Supuestos Generales</b>		
Incrementos anuales en ventas año 2-5	1%	
Incrementos en el precio de venta año 2-5	1%	
Incrementos en costos anuales	1%	
Incrementos Salariales anuales	1%	
Incremento en los gastos de venta	1%	
Incrementos en gastos administrativos	1%	
Incrementos en gastos de Operación	1%	
Impuesto sobre la renta	0%	
Tasa de descuento para cálculo del VAN	5%	

*Tabla 30. Análisis económico sistema fotovoltaico.*

Partimos de los datos generados en la tabla 30 a fin de obtener el valor de referencia de los ingresos generados por el sistema fotovoltaico sobre suelo. El proyecto ha sido formulado tomando en cuenta un aporte del inversionista de 20% del costo total del proyecto. Financiado el 80% por medio de una línea de crédito a una tasa de interés del 6.17% anual por un periodo de 10 años [58] a través del Banco de Desarrollo de El Salvador. Aprovechando la disponibilidad de una línea de crédito para inversiones en energías renovables.

De los indicadores financieros, el VAN y el TIR, dos herramientas para saber la viabilidad del proyecto de inversión, según características definidas. Para el sistema sobre suelo se obtuvieron como resultados de VAN positivo,  $VAN > 0$ . Se asume que el proyecto será rentable. Para una TIR del 23% se asume que el proyecto será viable para su ejecución y puede ser aprobado.

## Estado de Resultados Projectado

Concepto	Mes 1	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
<b>Ventas totales</b>	<b>43,311</b>	<b>528,970</b>	<b>550,448</b>	<b>578,527</b>	<b>608,037</b>	<b>639,053</b>
Costo de los bienes vendidos	19,300	227,715	236,961	249,048	261,752	275,104
<b>Margen sobre ventas</b>	<b>24,012</b>	<b>301,255</b>	<b>313,487</b>	<b>329,478</b>	<b>346,285</b>	<b>363,949</b>
Gastos Administrativos	1,342	18,293	19,036	20,007	21,027	22,100
Gastos de venta	-	-	-	-	-	-
Gastos de Operación	532	6,387	6,646	6,985	7,342	7,716
Depreciación	27	326	326	326	326	326
<b>Utilidad operativa</b>	<b>22,110</b>	<b>276,249</b>	<b>287,479</b>	<b>302,160</b>	<b>317,590</b>	<b>333,807</b>
Gastos financieros	4,806	55,725	36,251	-	-	-
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	<b>17,304</b>	<b>220,524</b>	<b>251,228</b>	<b>302,160</b>	<b>317,590</b>	<b>333,807</b>
Impuesto sobre la renta	-	-	-	-	-	-
<b>Utilidad neta</b>	<b>17,304</b>	<b>220,524</b>	<b>251,228</b>	<b>302,160</b>	<b>317,590</b>	<b>333,807</b>
<b>Inversion inicial</b>						

Costo de los bienes vendidos	45%	43%	43%	43%	43%	43%
Margen bruto sobre ventas	55%	57%	57%	57%	57%	57%
Gastos administrativos	4%	5%	5%	5%	5%	5%

Tabla 31. Estado de resultados proyectados para el SFV.

## Flujo de Efectivo

FLUJO DE EFECTIVO	Mes 0	Mes 1	Año 1	Año 4	Año 5	Año 10	Año 20
<b>(1) Saldo anterior de caja</b>		\$ 1,164,214.59	\$ 1,164,214.59	\$ 1,625,774.88	\$ 1,785,233.84	\$ 3,038,586.79	\$ 6,203,259.27
<b>INGRESOS</b>							
Ventas		\$ 43,311.34	\$ 528,969.84	\$ 544,998.15	\$ 550,448.13	\$ 578,526.52	\$ 639,053.19
Aporte Empresario	\$ 233,696.92						
Prestámos	\$ 934,787.67						
<b>(2) Total ingresos del período</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 1,207,525.93</b>	<b>\$ 1,693,184.42</b>	<b>\$ 2,170,773.03</b>	<b>\$ 2,335,681.97</b>	<b>\$ 3,617,113.31</b>	<b>\$ 6,842,312.47</b>
<b>EGRESOS</b>							
Costos de productos o servicios vendidos		\$ 19,299.56	\$ 227,714.87	\$ 234,614.86	\$ 236,961.01	\$ 249,048.40	\$ 275,104.37
Gastos de ventas		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de administración		\$ 1,341.92	\$ 18,293.00	\$ 18,847.30	\$ 19,035.77	\$ 20,006.78	\$ 22,099.94
Gastos de Operación		\$ 532.25	\$ 6,387.00	\$ 6,580.53	\$ 6,646.34	\$ 6,985.37	\$ 7,716.19
Compra de activo fijo	\$ 4,270.00						
Compra de herramientas							
Pago impuesto sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>(3) Total egresos del período</b>	<b>\$ 4,270.00</b>	<b>\$ 21,173.73</b>	<b>\$ 252,394.87</b>	<b>\$ 260,042.69</b>	<b>\$ 262,643.11</b>	<b>\$ 276,040.55</b>	<b>\$ 304,920.50</b>
<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>\$ 1,164,214.59</b>	<b>\$ 1,186,352.20</b>	<b>\$ 1,440,789.55</b>	<b>\$ 1,910,730.34</b>	<b>\$ 2,073,038.86</b>	<b>\$ 3,341,072.75</b>	<b>\$ 6,537,391.97</b>
Gastos financieros	\$ -	\$ 4,806.37	\$ 55,725.25	\$ 41,577.85	\$ 36,251.11	\$ -	\$ -
Amortización capital préstamos	\$ -	\$ 5,651.68	\$ 69,771.26	\$ 83,918.65	\$ 89,245.39	\$ -	\$ -
<b>(4) Saldo final de caja</b>	<b>\$ 1,164,214.59</b>	<b>\$ 1,175,894.16</b>	<b>\$ 1,315,293.05</b>	<b>\$ 1,785,233.84</b>	<b>\$ 1,947,542.35</b>	<b>\$ 3,341,072.75</b>	<b>\$ 6,537,391.97</b>

Tabla 32. Flujo de efectivo proyectado para el SFV.

El plazo estipulado para el pago del financiamiento es a 10 años. Así también cumplir con sus obligaciones e invertir para el crecimiento de la planta fotovoltaica.

## Balance General

BALANCE GENERAL PROYECTADO		Mes 1	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
<b>Activos circulantes</b>							
Efectivo y cuentas en bancos	\$ 1,164,214.59	\$ 1,175,894.16	\$ 1,315,293.05	\$ 1,947,542.35	\$ 3,341,072.75	\$ 4,899,485.02	\$ 6,537,391.97
Inventarios y materias primas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
Cuentas por cobrar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
<b>Total activos circulantes</b>	<b>\$ 1,164,214.59</b>	<b>\$ 1,175,894.16</b>	<b>\$ 1,315,293.05</b>	<b>\$ 1,947,542.35</b>	<b>\$ 3,341,082.75</b>	<b>\$ 4,899,505.02</b>	<b>\$ 6,537,421.97</b>
<b>Activos de mediano plazo</b>							
Herramientas			\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
Depreciaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Total activos Mediano Plazo</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 5.00</b>	<b>\$ 10.00</b>	<b>\$ 15.00</b>
<b>Activos de largo plazo</b>							
Equipo	\$ 4,270.00	\$ 4,270.00	\$ 4,270.00	\$ 4,270.00	\$ 4,270.00	\$ 4,270.00	\$ 4,270.00
Depreciaciones	\$ 27.17	\$ -	\$ 326.00	\$ 1,630.00	\$ 3,260.00	\$ 4,890.00	\$ 6,520.00
Remodelación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
<b>Total activos Largo Plazo</b>	<b>\$ 4,270.00</b>	<b>\$ 4,242.83</b>	<b>\$ 3,944.00</b>	<b>\$ 2,640.00</b>	<b>\$ 1,010.00</b>	<b>\$ 620.00</b>	<b>\$ 2,250.00</b>
<b>Total activos</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 1,180,136.99</b>	<b>\$ 1,319,237.05</b>	<b>\$ 1,950,182.35</b>	<b>\$ 3,342,097.75</b>	<b>\$ 4,898,895.02</b>	<b>\$ 6,535,186.97</b>
<b>Pasivos a Largo Plazo</b>							
Cuentas por pagar		\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
Creditos Bancarios	\$ 934,787.67	\$ 929,135.99	\$ 865,016.41	\$ 538,742.54	\$ -	\$ -	\$ -
Impuestos por pagar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
<b>Total Pasivos a Corto Plazo</b>	<b>\$ 934,787.67</b>	<b>\$ 929,135.99</b>	<b>\$ 865,016.41</b>	<b>\$ 538,742.54</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>Capital</b>							
Aportaciones de capital	\$ 233,696.92	\$ 233,696.92	\$ 233,696.92	\$ 1,160,211.91	\$ 2,501,180.25	\$ 4,042,532.69	\$ 5,662,592.74
Utilidades retenidas	\$ 17,304.08	\$ 17,304.08	\$ 220,523.72	\$ 251,227.91	\$ 302,159.97	\$ 317,589.79	\$ 333,806.69
<b>Total patrimonio</b>	<b>\$ 233,696.92</b>	<b>\$ 251,001.00</b>	<b>\$ 454,220.64</b>	<b>\$ 1,411,439.82</b>	<b>\$ 2,803,340.22</b>	<b>\$ 4,360,122.48</b>	<b>\$ 5,996,399.43</b>
<b>Total Pasivos + Capital</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 1,180,136.99</b>	<b>\$ 1,319,237.05</b>	<b>\$ 1,950,182.35</b>	<b>\$ 2,803,340.22</b>	<b>\$ 4,360,122.48</b>	<b>\$ 5,996,399.43</b>
Diferencia	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 538,757.54	\$ 538,772.54	\$ 538,787.54

Tabla 33. Balance general proyectado para el SFV.

INDICADORES FINANCIEROS						
	Año 0	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
Gastos Administrativos		\$ 18,293	\$ 19,036	\$ 20,007	\$ 21,027	\$ 22,100
Gastos de venta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de Operación		\$ 6,387	\$ 6,646	\$ 6,985	\$ 7,342	\$ 7,716
Depreciación		\$ 326	\$ 326	\$ 326	\$ 326	\$ 326
<b>Costos fijos totales</b>		<b>\$ 25,006</b>	<b>\$ 26,008</b>	<b>\$ 27,318</b>	<b>\$ 28,695</b>	<b>\$ 30,142</b>
Punto equilibrio en ventas anuales		32120	32900	34579	36343	38196
Porcentaje de cobertura de los costos fijos		1647%	1673%	1673%	1673%	1673%
<b>VAN, TIR Y PERIODOD DE RECUPERACION</b>						
<b>Inversion inicial</b>	<b>-\$ 951,360.13</b>					
Utilidades		\$ 230,878.42	\$ 257,963.99	\$ 257,963.99	\$ 257,963.99	\$ 257,963.99
Depreciaciones		\$ 326.00	\$ 326.00	\$ 326.00	\$ 326.00	\$ 326.00
<b>Flujo neto de efectivo</b>	<b>-\$ 951,360.13</b>	<b>\$ 231,204.42</b>	<b>\$ 258,289.99</b>	<b>\$ 258,289.99</b>	<b>\$ 258,289.99</b>	<b>\$ 258,289.99</b>
Factor de descuento	0.95	0.91	0.75	0.75	0.75	0.75
<b>Valor descontado</b>	<b>-\$ 906,057.27</b>	<b>\$ 209,709.23</b>	<b>\$ 192,739.96</b>	<b>\$ 192,739.96</b>	<b>\$ 192,739.96</b>	<b>\$ 192,739.96</b>
<b>VAN</b>	<b>\$2,099,847.34</b>					
TIR	26%					
Periodo de Recuperacion (meses)	120.00					
<b>RAZONES FINANCIERAS</b>						
Utilidad operativa		\$ 276,248.97	\$ 287,479.02	\$ 302,159.97	\$ 317,589.79	\$ 333,806.69
Impuestos sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital invertido		\$ 894,563.57	\$ 628,906.97	\$ 190,272.03	\$ 190,272.03	\$ 190,272.03
<b>Retorno sobre la inversion</b>		<b>31%</b>	<b>46%</b>	<b>159%</b>	<b>167%</b>	<b>175%</b>

Tabla 34. Indicadores financieros para el SFV.

## 6.7.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CON BESS

Fuentes de Financiamiento		
		<b>SISTEMA SOBRE SUELO MAS BESS</b>
<b>1.1. FONDOS PROPIOS</b>		<b>MONTO DE LA INVERSION</b>
Aporte del empresario	\$ 233,696.92	<b>\$ 1,168,484.59</b>
<b>1.3. CREDITOS BANCARIOS</b>		Aporte del empresario
Monto estimado del credito	\$ 934,787.67	\$ 233,696.92
Tasa de interes del crédito	6.17%	Credito Banco
Años plazo del credito (3 meses gracia)	10	<b>\$ 934,787.67</b>
<b>2. Supuestos Generales</b>		
Incrementos anuales en ventas año 2-5	1%	
Incrementos en el precio de venta año 2-5	1%	
Incrementos en costos anuales	1%	
Incrementos Salariales anuales	1%	
Incremento en los gastos de venta	1%	
Incrementos en gastos administrativos	1%	
Incrementos en gastos de Operación	1%	
Impuesto sobre la renta	0%	
Tasa de descuento para calculo del VAN	5%	

*Tabla 35 Análisis económico sistema fotovoltaico con almacenamiento.*

Partimos de los datos generados en la tabla 35 a fin de obtener el valor de referencia de los ingresos generados por el sistema fotovoltaico sobre suelo. El proyecto ha sido formulado tomando en cuenta un aporte del inversionista de 20% del costo total del proyecto. Financiado el 80% por medio de una línea de crédito a una tasa de interés del 6.17% anual [58]

De los indicadores financieros, el VAN y el TIR, dos herramientas para saber la viabilidad del proyecto de inversión, según características definidas. Para el sistema sobre suelo se obtuvieron como resultados de VAN positivo,  $VAN > 0$ . Se asume que el proyecto será rentable. Para una TIR del 20% se asume que el proyecto será viable para su ejecución y puede ser aprobado.

Nota: Los costos asociados al estudio financiero fueron considerados con los beneficios del incentivo fiscal proporcionado al rubro de sistemas de generación, según el capítulo 85, inciso arancelario 8501.64.00.000 y la "ley de incentivos fiscales para el fomento de las energías renovables en la generación de electricidad". Celebrada el día 29 de noviembre del año 2007.

### Estado de Resultados Projectado

Concepto	Mes 1	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
Ventas totales	43,311	528,970	550,448	578,527	608,037	639,053
Costo de los bienes vendidos	18,900	222,915	231,966	243,799	256,235	269,305
<b>Margen sobre ventas</b>	<b>24,412</b>	<b>306,055</b>	<b>318,482</b>	<b>334,728</b>	<b>351,802</b>	<b>369,748</b>
Gastos Administrativos	1,342	18,293	19,036	20,007	21,027	22,100
Gastos de venta	-	-	-	-	-	-
Gastos de Operación	532	6,387	6,646	6,985	7,342	7,716
Depreciación	51	612	612	612	612	612
<b>Utilidad operativa</b>	<b>22,487</b>	<b>280,763</b>	<b>292,188</b>	<b>307,123</b>	<b>322,821</b>	<b>339,319</b>
Gastos financieros	9,348	104,363	15,490	-	-	-
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	<b>13,139</b>	<b>176,400</b>	<b>276,698</b>	<b>307,123</b>	<b>322,821</b>	<b>339,319</b>
Impuesto sobre la renta	-	-	-	-	-	-
<b>Utilidad neta</b>	<b>13,139</b>	<b>176,400</b>	<b>276,698</b>	<b>307,123</b>	<b>322,821</b>	<b>339,319</b>
<b>Inversion inicial</b>						
Costo de los bienes vendidos	44%	42%	42%	42%	42%	42%
Margen bruto sobre ventas	56%	58%	58%	58%	58%	58%
Gastos administrativos	4%	5%	5%	5%	5%	5%

Tabla 36. Estado de resultados proyectados para el SFV con BESS.

### Flujo de Efectivo

FLUJO DE EFECTIVO	Mes 0	Mes 1	Año 1	Año 4	Año 5	Año 10	Año 20
<b>(1) Saldo anterior de caja</b>		\$ 1,161,604.59	\$ 1,161,604.59	\$ 1,265,620.80	\$ 1,305,995.68	\$ 2,316,007.28	\$ 5,535,603.14
<b>INGRESOS</b>							
Ventas		\$ 43,311.34	\$ 528,969.84	\$ 544,998.15	\$ 550,448.13	\$ 578,526.52	\$ 639,053.19
Aporte Empresario	\$ 233,696.92						
Prestámos	\$ 934,787.67						
<b>(2) Total ingresos del período</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 1,204,915.93</b>	<b>\$ 1,690,574.42</b>	<b>\$ 1,810,618.95</b>	<b>\$ 1,856,443.82</b>	<b>\$ 2,894,533.80</b>	<b>\$ 6,174,656.33</b>
<b>EGRESOS</b>							
Costos de productos o servicios vendidos		\$ 18,899.56	\$ 222,914.87	\$ 229,669.41	\$ 231,966.11	\$ 243,798.71	\$ 269,305.45
Gastos de ventas		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de administración		\$ 1,341.92	\$ 18,293.00	\$ 18,847.30	\$ 19,035.77	\$ 20,006.78	\$ 22,099.94
Gastos de Operación		\$ 532.25	\$ 6,387.00	\$ 6,580.53	\$ 6,646.34	\$ 6,985.37	\$ 7,716.19
Compra de activo o fijo	\$ 6,880.00						
Compra de herramientas							
Pago impuesto sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>(3) Total egresos del período</b>	<b>\$ 6,880.00</b>	<b>\$ 20,773.73</b>	<b>\$ 247,594.87</b>	<b>\$ 255,097.24</b>	<b>\$ 257,648.21</b>	<b>\$ 270,790.86</b>	<b>\$ 299,121.58</b>
<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>\$ 1,161,604.59</b>	<b>\$ 1,184,142.20</b>	<b>\$ 1,442,979.55</b>	<b>\$ 1,555,521.71</b>	<b>\$ 1,598,795.60</b>	<b>\$ 2,623,742.94</b>	<b>\$ 5,875,534.75</b>
Gastos financieros	\$ -	\$ 9,347.88	\$ 104,362.62	\$ 41,830.76	\$ 15,489.80	\$ -	\$ -
Amortización capital préstamos	\$ -	\$ 11,445.96	\$ 145,163.41	\$ 207,695.27	\$ 234,036.23	\$ -	\$ -
<b>(4) Saldo final de caja</b>	<b>\$ 1,161,604.59</b>	<b>\$ 1,163,348.36</b>	<b>\$ 1,193,453.53</b>	<b>\$ 1,305,995.68</b>	<b>\$ 1,349,269.58</b>	<b>\$ 2,623,742.94</b>	<b>\$ 5,875,534.75</b>

Tabla 37. Flujo de efectivo proyectado para el SFV con BESS.

**Balance General**

BALANCE GENERAL PROYECTADO		Mes 1	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
<b>Activos circulantes</b>							
Efectivo y cuentas en bancos	\$ 1,161,604.59	\$ 1,163,348.36	\$ 1,193,453.53	\$ 1,349,269.58	\$ 2,623,742.94	\$ 4,209,201.68	\$ 5,875,534.75
Inventarios y materias primas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
Cuentas por cobrar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
<b>Total activos circulantes</b>	<b>\$ 1,161,604.59</b>	<b>\$ 1,163,348.36</b>	<b>\$ 1,193,453.53</b>	<b>\$ 1,349,269.58</b>	<b>\$ 2,623,752.94</b>	<b>\$ 4,209,221.68</b>	<b>\$ 5,875,564.75</b>
<b>Activos de mediano plazo</b>							
Herramientas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
Depreciaciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Total activos Mediano Plazo</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 5.00</b>	<b>\$ 10.00</b>	<b>\$ 15.00</b>
<b>Activos de largo plazo</b>							
Equipo	\$ 6,880.00	\$ 6,880.00	\$ 6,880.00	\$ 6,880.00	\$ 6,880.00	\$ 6,880.00	\$ 6,880.00
Depreciaciones	\$ 51.03	\$ 612.33	\$ 3,061.67	\$ 6,123.33	\$ 9,185.00	\$ 12,246.67	\$ -
Remodelación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
<b>Total activos Largo Plazo</b>	<b>\$ 6,880.00</b>	<b>\$ 6,828.97</b>	<b>\$ 6,267.67</b>	<b>\$ 3,818.33</b>	<b>\$ 756.67</b>	<b>\$ 2,305.00</b>	<b>\$ 5,366.67</b>
<b>Total activos</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 1,170,177.34</b>	<b>\$ 1,199,721.20</b>	<b>\$ 1,353,087.91</b>	<b>\$ 2,624,514.61</b>	<b>\$ 4,206,926.68</b>	<b>\$ 5,870,213.09</b>
<b>Pasivos a Largo Plazo</b>							
Cuentas por pagar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
Creditos Bancarios	\$ 934,787.67	\$ 923,341.71	\$ 789,624.26	\$ 0.00	\$ -	\$ -	\$ -
Impuestos por pagar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.00	\$ 10.00	\$ 15.00
<b>Total Pasivos a Corto Plazo</b>	<b>\$ 934,787.67</b>	<b>\$ 923,341.71</b>	<b>\$ 789,624.26</b>	<b>\$ 0.00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>Capital</b>							
Aportaciones de capital	\$ 233,696.92	\$ 233,696.92	\$ 233,696.92	\$ 1,076,390.12	\$ 2,317,376.28	\$ 3,884,075.75	\$ 5,530,848.80
Utilidades retenidas	\$ 13,138.71	\$ 176,400.01	\$ 276,697.79	\$ 307,123.32	\$ 322,820.94	\$ 339,319.28	\$ -
<b>Total patrimonio</b>	<b>\$ 233,696.92</b>	<b>\$ 246,835.62</b>	<b>\$ 410,096.93</b>	<b>\$ 1,353,087.91</b>	<b>\$ 2,624,499.61</b>	<b>\$ 4,206,896.68</b>	<b>\$ 5,870,168.09</b>
<b>Total Pasivos + Capital</b>	<b>\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 1,170,177.34</b>	<b>\$ 1,199,721.20</b>	<b>\$ 1,353,087.91</b>	<b>\$ 2,624,499.61</b>	<b>\$ 4,206,896.68</b>	<b>\$ 5,870,168.09</b>

Tabla 38. Balance general para el SFV con BESS. Representa las fuentes de financiación en un momento concreto, procedentes, tanto de terceros como inversionistas, como de los

INDICADORES FINANCIEROS						
	Año 0	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
Gastos Administrativos		\$ 18,293	\$ 19,036	\$ 20,007	\$ 21,027	\$ 22,100
Gastos de venta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de Operación		\$ 6,387	\$ 6,646	\$ 6,985	\$ 7,342	\$ 7,716
Depreciación		\$ 326	\$ 326	\$ 326	\$ 326	\$ 326
<b>Costos fijos totales</b>		<b>\$ 25,006</b>	<b>\$ 26,008</b>	<b>\$ 27,318</b>	<b>\$ 28,695</b>	<b>\$ 30,142</b>
Punto equilibrio en ventas anuales		32120	32900	34579	36343	38196
<b>Porcentaje de cobertura de los costos fijos</b>		<b>1647%</b>	<b>1673%</b>	<b>1673%</b>	<b>1673%</b>	<b>1673%</b>
<b>VAN, TIR Y PERIODOD DE RECUPERACION</b>						
<b>Inversion inicial</b>	<b>-\$ 1,168,484.59</b>					
<b>Utilidades</b>		\$ 220,523.72	\$ 251,227.91	\$ 251,227.91	\$ 251,227.91	\$ 251,227.91
<b>Depreciaciones</b>		\$ 326.00	\$ 326.00	\$ 326.00	\$ 326.00	\$ 326.00
<b>Flujo neto de efectivo</b>	<b>-\$ 1,168,484.59</b>	<b>\$ 220,849.72</b>	<b>\$ 251,553.91</b>	<b>\$ 251,553.91</b>	<b>\$ 251,553.91</b>	<b>\$ 251,553.91</b>
Factor de descuento	0.95	0.91	0.75	0.75	0.75	0.75
<b>Valor descontado</b>	<b>-\$ 1,112,842.46</b>	<b>\$ 200,317.20</b>	<b>\$ 187,713.40</b>	<b>\$ 187,713.40</b>	<b>\$ 187,713.40</b>	<b>\$ 187,713.40</b>
<b>VAN</b>	<b>\$1,805,060.39</b>					
<b>TIR</b>	<b>20%</b>					
<b>Período de Recuperacion (meses)</b>	<b>120.00</b>					
<b>RAZONES FINANCIERAS</b>						
Utilidad operativa		\$ 276,248.97	\$ 287,479.02	\$ 302,159.97	\$ 317,589.79	\$ 333,806.69
Impuestos sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital invertido		\$ 1,098,713.33	\$ 772,439.45	\$ 233,696.92	\$ 233,696.92	\$ 233,696.92
Retomo sobre la inversion		25%	37%	129%	136%	143%

propietarios de la misma, y la inversión que se ha dado a esa financiación.

Tabla 39. Indicadores financieros para el SFV con BESS.

## 7. CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

- En este trabajo de grado se demostró la viabilidad técnica y financiera de la implementación de un sistema fotovoltaico con almacenamiento cuya aplicación es la de recorte de picos o Peak Shaving.
- Se desarrolló, de forma teórica, la implementación de un sistema de almacenamiento de 250kW/1MWh, para ser implementado con un SFV de 1MWp para abastecer la demanda de energía y potencia de 500 usuarios residenciales servidos por un comercializador. De acuerdo con los resultados obtenidos, podría ser una base teórica para futuros estudios de sistemas de almacenamiento a gran escala aplicados a áreas residenciales más extensas o en redes de distribución con muchos más usuarios y cuyas aplicaciones sean de respaldo de energía, Peak Shaving o micro redes.
- El sistema fotovoltaico con almacenamiento presenta tiempos de retorno de inversión menores a 10 años, a pesar de que los costos de adquisición e instalación de los BESS son elevados, el sistema compensa el costo adicional con los beneficios que trae al proyecto.
- La implementación del SFV con almacenamiento presentó una TIR de 20% a una tasa de interés del 6.17% para 10 años lo que indica que el proyecto tiene viabilidad financiera.
- Se comprobó la validez de los datos obtenidos por el método Arvidson para estudios teóricos como el presente trabajo de grado, ya que, al analizar las curvas obtenidas, se evidencian las formas típicas para demandas de tipo residencial.

- Para la determinación de las áreas bajo la curva de perfil de carga, se calculó el porcentaje de error de los datos con el software Geogebra y Matlab, el porcentaje de desviación es menor al 5% respecto a los datos arrojados por el método de triangulación.
- Los sistemas de almacenamiento poseen muchas aplicaciones para apoyo a la generación fotovoltaica, entre ellas se encuentran proporcionar potencia firme, almacenamiento de respaldo o Peak Shaving. Sin embargo, si se pretende desarrollar una aplicación BESS para esta área, se debe estudiar la curva de demanda de las cargas conectadas al SFV y determinar cuál aplicación es la de mejor desempeño.
- Algunos expertos en el tema recomiendan que un BESS con una capacidad del orden de los MWh no debería sobrepasar las 6 horas de autonomía, esto con el fin de mantener un sistema más eficaz y de un costo moderado. Después de analizar las dimensiones del pico de demanda de la colonia, se optó por diseñar un sistema con 6 horas de autonomía dando como resultado una capacidad de 1.1MWh. El costo es la mayor limitante que los sistemas BESS presentan, lo que no permite implementar más de una aplicación de almacenamiento con un solo sistema BESS.
- A pesar de la baja en los precios de las baterías de litio, los costos asociados a la adquisición e instalación de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía siguen siendo considerables, de acuerdo a nuestros resultados, el costo por kW instalado para un SFV

con almacenamiento es de 1.15\$/kWP, mientras que el costo para un SFV sin almacenamiento es de 0.94\$/kWP, esto es más del 18% de costo adicional, sin embargo, en el análisis de ahorro mensual, los ingresos extras proyectados por la implementación del SFV con almacenamiento rondan el 23%.

- La implementación de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía presenta mayores ahorros mensuales con un retorno de inversión alto. Al décimo año es del 159%, lo que representa una inversión exitosa.
- El estudio financiero evidencia un tiempo de retorno de 20 años, casi toda la vida útil del sistema, sin embargo, el estudio se diseñó así porque se tiene una tasa de interés baja lo cual hace más provechoso alargar el plazo de recuperación de la inversión en un tiempo de 10 años que en 5 o 7, permitiendo que el flujo de efectivo sea mayor. Por otro lado, al abonar el crédito solicitado, en muchas cuotas a lo largo de los años, estas se pueden manejar de acuerdo con las circunstancias económicas concretas del inversionista. Lo cual da la posibilidad de renegociar a lo largo de la financiación para ajustarlo a las nuevas necesidades. Ya sea para amortizar el préstamo antes de tiempo o para alargar el contrato para futuras inversiones.
- El BESS diseñado en este trabajo de grado se considera de mediana escala ya que se encuentra en el orden de los MWh, esto es un factor importante para considerar ya que los sistemas de esta capacidad no pueden brindar servicios complementarios a la red como lo haría un sistema BESS a gran escala. Si hablamos de sistemas de almacenamiento a gran

escala, estos tienen acceso a otros beneficios económicos ya que pueden dar soporte a la red, potencia firme, arranque en negro, etc., por lo que reciben compensaciones monetarias adicionales.

## 8. CAPÍTULO 8: ANEXOS

### 8.1 ANEXO A: MEMORIAS DE CÁLCULOS

#### 8.1.1 CÁLCULO DE AHORRO MENSUAL POR LA IMPLEMETACIÓN DEL SFV Y EL SISTEMA BESS (MES DE ENERO).

- Datos de la energía promedio mensual para cada hora del día según la simulación PVsyst

GENERACIÓN PROMEDIO POR HORA PARA CADA MES DEL AÑO												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	1	15	62	73	66	53	52	59	58	31	4
07:00	171	177	220	248	241	235	210	214	240	237	249	223
08:00	367	386	432	437	407	397	389	388	416	403	435	441
09:00	520	542	597	586	545	521	541	517	526	547	569	583
10:00	618	681	690	665	632	614	643	614	621	602	643	694
11:00	647	723	727	675	630	597	663	613	634	625	684	715
12:00	644	718	727	685	618	596	664	624	641	621	680	703
13:00	606	691	727	605	547	556	638	594	589	551	627	634
14:00	512	622	615	544	469	466	537	504	513	434	502	519
15:00	373	482	456	402	314	344	405	383	374	291	345	360
16:00	196	263	266	222	170	201	230	222	192	129	140	161
17:00	4	27	54	44	37	52	62	54	17	1	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- Tarifas aplicadas (vigencia del 15 de octubre 2022 al 14 de enero 2023)

PRECIOS DE ENERGÍA A TRASLADAR A TARIFAS DE LAS DISTRIBUIDORAS		PLIEGO TARIFARIO APLICADO A USUARIOS FINALES (BT, consumo > 200kWh)	
Periodo	Tarifa	Cargo	Tarifa
Resto	0.136738413	Energía	0.162362
Punta	0.147205069	Distribución	0.043716
Valle	0.157708017	Comercialización	0.857491
PRECIOS DE POTENCIA EN GRAN DEMANDA CON MEDIDOR HORARIO			
Potencia	7.089464		

**PRECIOS DE LA ENERGÍA A TRASLADAR A TARIFAS  
VIGENTES DESDE EL 15 DE OCTUBRE DE 2022 HASTA EL 14 DE ENERO DE 2023\***

Banda	CAESS	DELSUR	AES CLESA	EEO	DEUSEM	B&D	EDESAL	ABRUZZO	PROMEDIO
	US\$/MWh								
<b>Punta</b>	147.205069	149.374769	157.189223	153.881421	162.300272	131.831074	159.672148	123.720590	151.373624
<b>Resto</b>	136.738413	131.661950	128.174504	127.330646	130.925792	128.083660	130.764603	170.298943	132.349499
<b>Valle</b>	157.708017	159.403803	163.374135	164.399482	172.645144	163.221027	168.439184	82.384806	161.463259
<b>Total</b>	143.166797	141.818327	143.559638	143.307713	149.472616	137.051156	148.080709	155.991907	143.134559

\* De acuerdo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 43/2022; el cargo por energía se mantiene sin variación respecto al trimestre anterior.

<b>Bloque 3: Consumos mayores o iguales a 200 kWh/mes</b>									
	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.857491	1.002297	0.785781	0.913697	0.831726	2.385494	0.867936	0.926466
Cargo de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.162362	0.163472	0.165303	0.170482	0.178796	0.164507	0.143955	0.153388
Cargo de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.043716	0.073012	0.081981	0.077382	0.083169	0.066479	0.037964	0.043555

<b>MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO</b>									
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	12.862377	15.034473	11.786708	13.705455	12.475882	19.641153	17.214672	7.118801
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.155146	0.158120	0.166521	0.161330	0.171322	0.166698	0.134261	0.112875
Energía en Resto	US\$/kWh	0.144115	0.139370	0.135784	0.133494	0.138204	0.136519	0.130445	0.155370
Energía en Valle	US\$/kWh	0.166216	0.168736	0.173073	0.172357	0.182242	0.175851	0.166230	0.075163
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/KW-mes	7.089464	7.008348	13.097554	17.848802	19.101749	9.695440	10.688800	5.251206

- Energía consumida y energía inyectada en el periodo Resto, después de la implementación del SFV

<b>ENERGÍA CONSUMIDA Y ENERGÍA DEMANDADA EN PERIODO RESTO</b>					
	Energía consumida en la colonia	Energía generada por el SFV	Energía del SFV que se inyecta a la colonia	Energía proveniente de la distribuidora	Excedentes SFV inyectados a la red
Hora					
05:00	93.29	0	0	93.29	0
06:00	71.15	171	71.145	0	99.855
07:00	165.26	367	165.255	0	201.745
08:00	177.59	520	177.585	0	342.415
09:00	137.93	618	137.925	0	480.075
10:00	128.57	647	128.565	0	518.435
11:00	127.32	644	127.32	0	516.68
12:00	139.47	606	139.47	0	466.53
13:00	122.40	512	122.4	0	389.6
14:00	116.51	373	116.505	0	256.495
15:00	120.57	196	120.57	0	75.43
16:00	136.50	4	4	132.5	0
17:00	319.05	0	0	319.05	0

- Distribución de la energía consumida por la colonia, Energía FV vendida a la colonia, energía entregada por la distribuidora y los excedentes de energía FV para cada uno de los periodos.

<b>CONSUMO E INYECCIONES DE ENERGÍA DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SFV</b>				
Periodo	Energía consumida en la colonia	Energía del SFV que se inyecta a la colonia	Energía proveniente de la distribuidora	Excedentes SFV inyectados a la red
Energía Resto	1855.58	1310.74	544.84	3347.26
Energía Punta	724.76	0	724.76	0
Energía Valle	1703.86	0	1703.86	0
Total	4284.20	1310.74	2973.46	3347.26

**CONSUMO E INYECCIONES DE ENERGÍA DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SFV CON BESS**

Periodo	Energía consumida en la colonia	Energía del SFV que se inyecta a la colonia	Energía proveniente de la distribuidora	Excedentes SFV inyectados a la red
Energía Resto	1855.58	1524.08	331.50	2493.91
Energía Punta	724.76	0.00	724.76	0
Energía Valle	1703.86	640.01	1063.85	0
Total:	4284.20	2164.09	2120.11	2493.91

<b>ENERGÍA DEMANDADA EN EL PICO DE DEMANDA</b>		
	Energía	Energía con factor de cubrimiento
Energía en el pico	682.68	853.35
Resto (4:30pm a 6:00pm)	170.67	213.34
Valle (6:00pm a 10:30pm)	512.01	640.01

- Facturación mensual de la energía consumida de la distribuidora, la energía revendida a la colonia proveniente de la red, la energía vendida a los usuarios de la colonia y proveniente del SFV, la energía vendida a la red proveniente de los excedentes de generación FV.

<b>Factura mensual a pagar a la distribuidora</b>	
Periodo	Monto (USD\$)
Resto	\$ 2,235.02
Punta	\$ 3,200.63
Valle	\$ 8,061.37
Potencia/Distribución:	\$ 3,228.26

Comercialización		
Sub Total	\$	16,725.27
IVA	\$	2,174.29
<b>Total, Mensual</b>	<b>\$</b>	<b>18,899.56</b>

<b>Ventas por comercializar la energía de la distribuidora</b>	
Periodo	Monto (US\$)
Resto	Energía:
Punta	\$ 14,483.28
Valle	
Potencia/Distribución:	3899.63
Comercialización	\$ 428.75
Sub Total	\$ 18,811.66
IVA	\$ 2,445.52
<b>Total, Mensual</b>	<b>\$ 21,257.17</b>

<b>Ventas Por Comercializar energía FV en Resto</b>	
Periodo	Monto (US\$)
Resto	\$ 6,384.43
Punta	
Valle	
Potencia/Distribución:	\$ 1,719.01
Comercialización	\$ 428.75
Sub Total	\$ 8,532.19
IVA	\$ 1,109.18
<b>Total, Mensual</b>	<b>\$ 9,641.37</b>

**Ventas Por Comercializar Excedentes de energía FV**

Periodo	Monto (US\$)
Resto	\$ 10,984.78
Punta	\$ -
Valle	\$ -
Potencia/Distribución: Comercialización	
Sub Total	\$ 10,984.78
IVA	\$ 1,428.02
<b>Total, Mensual</b>	<b>\$ 12,412.80</b>

<b>Ahorro mensual por reducción de la factura pagada a la distribuidora</b>	
Monto a pagar antes de la implementación del SFV	\$ 24,626.80
Monto a pagar antes de la implementación del SFV	\$ 18,899.56
<b>Ahorro mensual</b>	<b>\$ 5,727.24</b>

- Resumen de cobro mensual y ventas mensuales de energía

<b>COBROS E INGRESOS MENSUALES DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FV</b>						
Mes	Cobro de la distribuidora por la energía servida	Ingreso por reventa de la energía de la distribuidora	Ingreso por comercializar la energía del SFV	Ingreso por comercializar los excedentes de energía del SFV	Ahorro por la disminución de la factura mensual por la energía comprada a la distribuidora	
Enero	\$ 18,899.56	\$ 21,257.17	\$ 9,641.37	\$ 12,412.80	\$	5,727.24
Febrero	\$ 18,788.31	\$ 21,089.51	\$ 9,809.04	\$ 14,752.76	\$	5,838.49
Marzo	\$ 18,598.26	\$ 20,803.08	\$ 10,095.46	\$ 15,390.60	\$	6,028.54
Abril	\$ 18,426.75	\$ 20,544.59	\$ 10,353.95	\$ 13,951.76	\$	6,200.05
Mayo	\$ 18,408.20	\$ 20,516.65	\$ 10,381.89	\$ 12,112.42	\$	6,218.59
Junio	\$ 18,371.12	\$ 20,460.76	\$ 10,437.78	\$ 11,941.84	\$	6,255.68
Julio	\$ 18,371.12	\$ 20,460.76	\$ 10,437.78	\$ 11,941.84	\$	6,255.68
Agosto	\$ 18,385.03	\$ 20,481.72	\$ 10,416.82	\$ 13,399.22	\$	6,241.77
Septiembre	\$ 18,426.75	\$ 20,544.59	\$ 10,353.95	\$ 12,483.26	\$	6,200.05
Octubre	\$ 18,565.81	\$ 20,754.18	\$ 10,144.37	\$ 12,753.97	\$	6,060.99
Noviembre	\$ 18,774.40	\$ 21,068.55	\$ 9,829.99	\$ 13,228.63	\$	5,852.39
Diciembre	\$ 18,899.56	\$ 21,257.17	\$ 9,641.37	\$ 13,818.26	\$	5,727.24

<b>COBROS E INGRESOS MENSUALES DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FV CON ALMACENAMIENTO</b>					
Mes	Cobro de la distribuidora por la energía servida	Ingreso por reventa de la energía de la distribuidora	Ingreso por comercializar la energía del SFV	Ingreso por comercializar los excedentes de energía del SFV	Ahorro por la disminución de la factura mensual por la energía comprada a la distribuidora
Enero	\$ 12,665.94	\$ 15,295.63	\$ 15,602.91	\$ 9,248.28	\$ 11,960.85
Febrero	\$ 12,554.69	\$ 15,127.96	\$ 15,770.58	\$ 11,588.25	\$ 12,072.10
Marzo	\$ 12,364.64	\$ 14,841.54	\$ 16,057.00	\$ 12,226.08	\$ 12,262.16
Abril	\$ 12,193.13	\$ 14,583.05	\$ 16,315.49	\$ 10,787.24	\$ 12,433.67
Mayo	\$ 12,174.59	\$ 14,555.11	\$ 16,343.43	\$ 8,947.90	\$ 12,452.21
Junio	\$ 12,137.51	\$ 14,499.22	\$ 16,399.32	\$ 8,777.32	\$ 12,489.29
Julio	\$ 12,137.51	\$ 14,499.22	\$ 16,399.32	\$ 8,777.32	\$ 12,489.29
Agosto	\$ 12,151.41	\$ 14,520.18	\$ 16,378.36	\$ 10,234.70	\$ 12,475.39
Septiembre	\$ 12,193.13	\$ 14,583.05	\$ 16,315.49	\$ 9,318.74	\$ 12,433.67
Octubre	\$ 12,332.19	\$ 14,792.63	\$ 16,105.91	\$ 9,589.45	\$ 12,294.60
Noviembre	\$ 12,540.79	\$ 15,107.01	\$ 15,791.53	\$ 10,064.12	\$ 12,086.01
Diciembre	\$ 12,665.94	\$ 15,295.63	\$ 15,602.91	\$ 10,653.74	\$ 11,960.85

<b>INGRESOS MENSUALES POR LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FV Y SISTEMA FV CON ALMACENAMIENTO</b>		
Mes	Total de ingreso por implementación del SFV	Total de ingreso por implementación del SFV con almacenamiento
Enero	\$ 30,139.01	\$ 39,441.73
Febrero	\$ 32,701.48	\$ 42,004.20
Marzo	\$ 33,719.42	\$ 43,022.14
Abril	\$ 32,623.61	\$ 41,926.32
Mayo	\$ 30,821.35	\$ 40,124.06
Junio	\$ 30,724.93	\$ 40,027.65
Julio	\$ 32,154.50	\$ 41,457.21
Agosto	\$ 31,155.10	\$ 40,457.82
Septiembre	\$ 31,147.68	\$ 40,450.40
Octubre	\$ 29,855.33	\$ 39,158.04
Noviembre	\$ 31,205.16	\$ 40,507.88
Diciembre	\$ 31,544.48	\$ 40,847.19

## 8.2 ANEXO B: FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

### 8.2.1 FICHA TÉCNICA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- Ficha técnica del módulo JKM555-575N-72HL4-(V) de la marca Jinko Solar.

www.jinkosolar.com

**JinKO**  
Solar  
*Building Your Trust in Solar*

## Tiger Neo N-type 72HL4-(V) 555-575 Watt MONO-FACIAL MODULE

**N-Type**

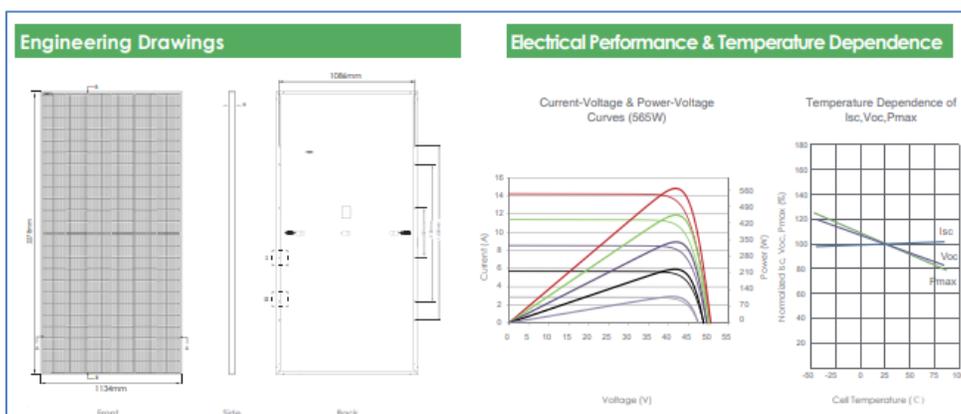
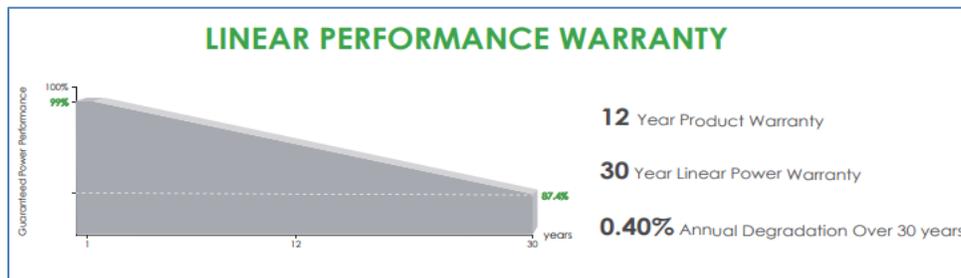
---

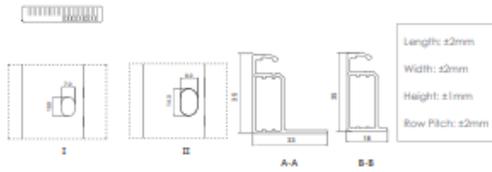
Positive power tolerance of 0~+3%

---

IEC61215(2016), IEC61730(2016)  
ISO9001:2015: Quality Management System  
ISO14001:2015: Environment Management System  
ISO45001:2018  
Occupational health and safety management systems







### Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40'HQ Container

### Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)
Weight	28 kg (61.73 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

### SPECIFICATIONS

Module Type	JKM555N-72HL4 JKM555N-72HL4-V		JKM560N-72HL4 JKM560N-72HL4-V		JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V	
	STC	NOCT								
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	555Wp	417Wp	560Wp	421Wp	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp	575Wp	432Wp
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	41.64V	39.12V	41.77V	39.25V	41.92V	39.38V	42.07V	39.51V	42.22V	39.60V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	13.33A	10.67A	13.41A	10.73A	13.48A	10.79A	13.55A	10.85A	13.62A	10.92A
Open-circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	50.34V	47.82V	50.47V	47.94V	50.60V	48.06V	50.74V	48.20V	50.88V	48.33V
Short-circuit Current (I <sub>sc</sub> )	14.07A	11.36A	14.15A	11.42A	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A	14.39A	11.62A
Module Efficiency STC (%)	21.48%		21.68%		21.87%		22.07%		22.26%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of P <sub>max</sub>	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of V <sub>oc</sub>	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of I <sub>sc</sub>	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

\*STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM=1.5  
 NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup> Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

©2021 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM555-575N-72HL4-(V)-F1-EN (IEC 2016)

## 8.2.2 FICHA TÉCNICA DE LOS INVERSORES SOLARES

- **Ficha técnica del inversor (75-100) K-5G-US de la marca Solís**

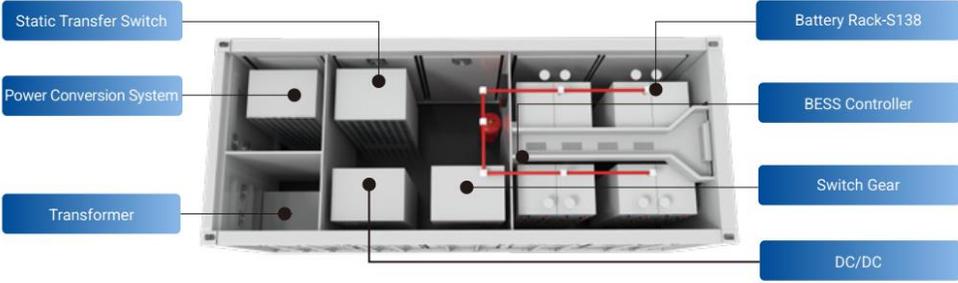
Datasheet				
Model Name	Solis-75K-5G-US	Solis-80K-5G-US	Solis-90K-5G-US	Solis-100K-5G-US
<b>Input DC</b>				
Max. input voltage	1000 V			
Rated voltage	600 V			
Start-up voltage	195 V			
MPPT voltage range	180-1000 V			
Max. input current	8*26 A	9*26 A	10*26 A	
Max. short circuit current	8*40 A	9*40 A	10*40 A	
MPPT number/Max. input strings number	8/16	9/18	10/20	
<b>Output AC</b>				
Rated output power	75 kW	80 kW	90 kW	100 kW
Max. apparent output power	75 kVA	80 kVA	90 kVA	100 kVA
Max. output power	75 kW	80 kW	90 kW	100 kW
Rated grid voltage	3Φ/PE, 480 V			
Rated grid frequency	60 Hz			
Max. output current	90.2 A	96.2 A	108.3 A	120.3 A
Power Factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)			
THDi	<3%			
<b>Efficiency</b>				
Max. efficiency	98.7%		99.0%	
CEC efficiency	98.3%		98.5%	
<b>Protection</b>				
DC reverse-polarity protection	Yes			
Ground fault monitoring	Yes			
Anti-islanding protection	Yes			
Integrated AFCI (DC arc-fault circuit protection)	Yes			
Strings monitoring	Yes			
I/V Curve scanning	Yes			
Integrated PID recovery	Optional			
Rapid shutdown	Yes			
AC switch	Yes			
<b>General Data</b>				
Dimensions(W*H*D)	41.9*22.3*13.6 in (1065*567*344.5 mm)			
Weight	187 lbs (85 kgs)			
Topology	Transformerless			
Self consumption (night)	<2 W			
Relative humidity	0-100%			
Operating ambient temperature range	-13°F-140°F (-25°C-60°C)			
Storage environment	-40°F-176°F (-40°C-80°C)			
Ingress protection	TYPE 4X			
Cooling concept	Intelligent redundant fan-cooling			
Max. operation altitude	13,120 ft (4000 m)			
Compliance	UL 1741, IEEE 1547, UL 1699B, UL 1998, FCC, UL 1741SA, California Rule 21			
<b>Features</b>				
DC connection	MC4 connector			
AC connection	OT Terminal (max 185 mm <sup>2</sup> )			
Display	LCD			
Communication	RS485, Ethernet, Optional: Wi-Fi, Cellular			

### 8.3.3 FICHA TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- **Ficha técnica de AGreatE ATEN-250kW Battery Energy Storage System,**



## □ System Configuration



Labels in diagram: Static Transfer Switch, Power Conversion System, Transformer, Battery Rack-S138, BESS Controller, Switch Gear, DC/DC

#### Product features (250kW/552kWh)

- The 250kW PCS cabinet contains a 250kW PCS with 500-850V DC voltage;
- The 4\*138kWh battery rack are converted to 400V AC through the modularized PCS, AC power will be transferred to 400V AC by the isolated transformer to support the load;
- The battery rack is charged from corresponding PV string 50kW DC/DC during day time operation;
- Power supply will be switch to DG by the ATS and STS seamlessly transferred to PCS, when BESS and PV are short of supply;



Product Model	S138 Strings	Container	STS (optional)	DC/DC Converter	PCS	Transformer
	S138-15P9	Size	800kW	300kW	250kW	250kVA
M250-276	2	20ft	1	1	1	1
M250-552	4	20ft	1	1	1	1
M250-1,104	8	40ft	1	1	1	1
M250-1,656	12	40ft	1	1	1	1

## System Technical Specifications

Item	M250-276/NA	M250-552/NA	M250-1,104/NA	M250-1,656/NA
<b>DC Data</b>				
Battery Chemistry	Lithium Iron Phosphate (LFP)			
Cell life cycle	80% Retention with 5,000 Cycles @ 1C 25°C			
Cell spec	3.2V/90Ah			
Rack configuration	2P240S			
Number of strings	2	4	8	12
Rack rated energy capacity	138kWh			
DC rated energy capacity	276kWh	552kWh	1,104kWh	1,656kWh
Rated voltage	768V			
Voltage range	672V~852V			
BMS communication interface	RS485, Ethernet			
BMS communication protocol	Modbus RTU, Modbus TCP			
<b>AC Data</b>				
Rated AC power	250kW			
Maximum AC power	275kW			
Rated voltage	400V/480V			
Grid voltage range	±15%/±10%			
AC rate of current	360A/301A			
Output THDi	≤3%			
Grid connected power factor	1(leading)~1(lagging)			
Grid frequency range	50/60±2.5Hz/59.5~60.5Hz			
Isolation method	3 Phase 4 Line Transformer			
<b>General Data</b>				
Dimension w/o clearances(L*W*H)	6,058*2,438*2,591mm		6,058*2,438*2,591mm	
Weight of whole system	<12T	<15T	<21T	<26T
Degree of protection	IP54			
Operating temperature range	-20~40 °C			
Relative humidity	0~95 % (non-condensing)			
Max working altitude	3,000m/9,842ft			
Cooling concept of DC hatch	HVAC			
Communication interfaces	RS485, Ethernet, GPRS			
Certificates	IEC 62619, UN 38.3, CE,UL1973			

## 8.4 ANEXO C: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES EN PVSYST

### 8.4.1 SIMULACIÓN: SISTEMA FOTOVOLTAICO SOBRE SUELO 1MWp



Project: TESIS\_SFV

Variant: SISTEMA GLOBAL

**PVsyst V7.2.21**  
 VC1, Simulation date:  
 01/12/22 18:42  
 with v7.2.21

---

**Project summary**

<b>Geographical Site</b> Guazapa El Salvador	<b>Situation</b> Latitude 13.93 °N Longitude -89.19 °W Altitude 321 m Time zone UTC-6	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Guazapa Meteonorm 8.0 (2000-2009), Sat=100% - Sintético		

---

**System summary**

<b>Grid-Connected System</b> <b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 13 / 0 °	<b>No 3D scene defined, no shadings</b> <b>Near Shadings</b> No Shadings	<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)												
<b>System information</b> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>PV Array</b></td> <td style="width: 33%;"><b>Inverters</b></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td>Nb. of modules 1760 units</td> <td>Nb. of units 8 units</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pnom total 1012 kWp</td> <td>Pnom total 800 kWac</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pnom ratio 1.265</td> <td></td> </tr> </table>			<b>PV Array</b>	<b>Inverters</b>		Nb. of modules 1760 units	Nb. of units 8 units		Pnom total 1012 kWp	Pnom total 800 kWac			Pnom ratio 1.265	
<b>PV Array</b>	<b>Inverters</b>													
Nb. of modules 1760 units	Nb. of units 8 units													
Pnom total 1012 kWp	Pnom total 800 kWac													
	Pnom ratio 1.265													

---

**Results summary**

Produced Energy	1796 MWh/year	Specific production	1775 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	80.87 %
Apparent energy	1796 MVAh				

---

**Table of contents**

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Main results	6
Loss diagram	7
Special graphs	8
P50 - P90 evaluation	9

General parameters								
<b>Grid-Connected System</b>		<b>No 3D scene defined, no shadings</b>						
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>					
Orientation		No 3D scene defined	Transposition Perez					
Fixed plane			Diffuse Perez, Meteonom					
Tilt/Azimuth	13 / 0 °		Circumsolar separate					
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>					
Average Height	2.4 °	No Shadings	Unlimited load (grid)					
<b>Grid injection point</b>								
<b>Power factor</b>								
Cos(phi) (lagging)	1.000							
PV Array Characteristics								
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>						
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic					
Model	JKM575M-7RL4-V	Model	Solis-100K-5G-US					
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)						
Unit Nom. Power	575 Wp	Unit Nom. Power	100 kWac					
Number of PV modules	1760 units	Number of inverters	8 units					
Nominal (STC)	1012 kWp	Total power	800 kWac					
Modules	160 Strings x 11 in series	Operating voltage	180-1000 V					
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.26					
Pmpp	923 kWp							
U mpp	441 V							
I mpp	2094 A							
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>						
Nominal (STC)	1012 kWp	Total power	800 kWac					
Total	1760 modules	Number of inverters	8 units					
Module area	4812 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.26					
Array losses								
<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>	<b>DC wiring losses</b>					
Loss Fraction	3.0 %	Module temperature according to irradiance	Global array res. 3.5 mΩ					
		Uc (const)	Loss Fraction 1.5 % at STC					
		Uv (wind)						
<b>Serie Diode Loss</b>		<b>LID - Light Induced Degradation</b>	<b>Module Quality Loss</b>					
Voltage drop	0.7 V	Loss Fraction	Loss Fraction -0.8 %					
Loss Fraction	0.1 % at STC							
<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>						
Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %					
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

### Horizon definition

Horizonte del servicio web de Meteonorm, lat=13.9273, lon=-89.1894

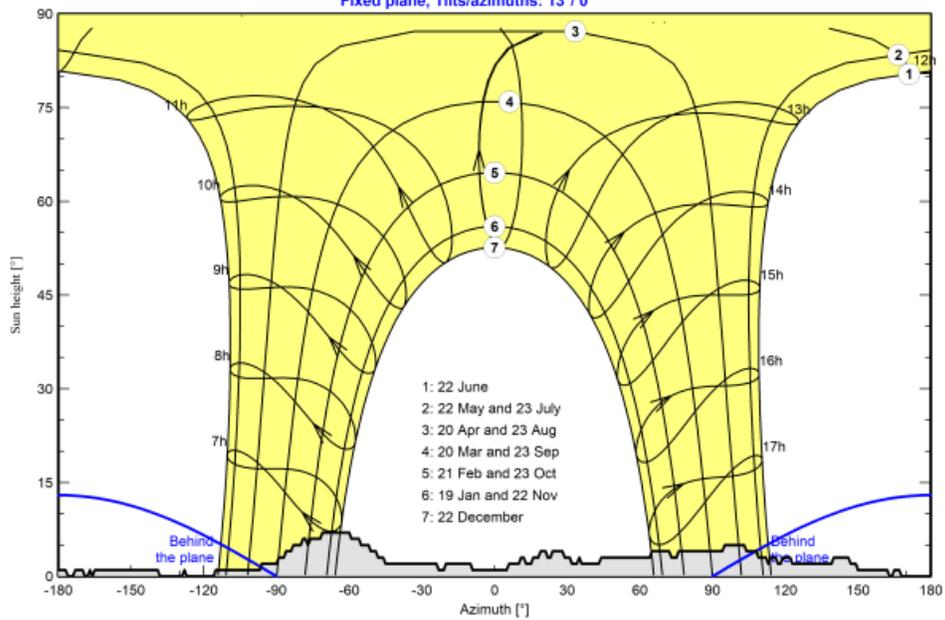
Average Height 2.4 ° Albedo Factor 0.88  
 Diffuse Factor 0.99 Albedo Fraction 100 %

### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-176	-174	-169	-166	-139	-128	-127	-115	-97	-89	-86	-84	-80
Height [°]	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	3.0	4.0	4.0	5.0
Azimuth [°]	-77	-76	-71	-60	-55	-51	-49	-46	-23	-21	-10	-9	10	12
Height [°]	5.0	6.0	7.0	7.0	5.0	4.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	3.0
Azimuth [°]	13	16	18	21	22	28	31	32	35	44	64	72	73	94
Height [°]	2.0	3.0	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	4.0
Azimuth [°]	103	104	109	114	116	118	119	139	146	150	164	165	168	179
Height [°]	5.0	4.0	3.0	3.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0

### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Fixed plane, Tilts/azimuths: 13°/ 0°



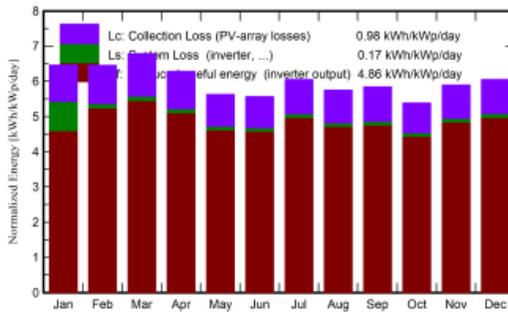
### Main results

#### System Production

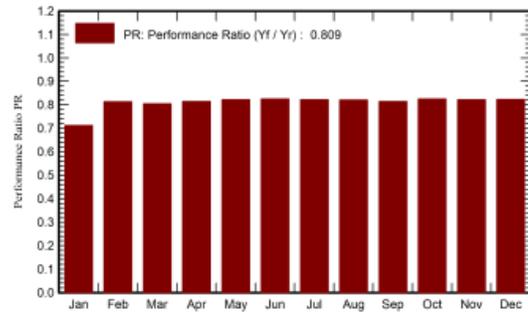
Produced Energy 1796 MWh/year  
Apparent energy 1796 MVAh

Specific production 1775 kWh/kWp/year  
Performance Ratio PR 80.87 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR

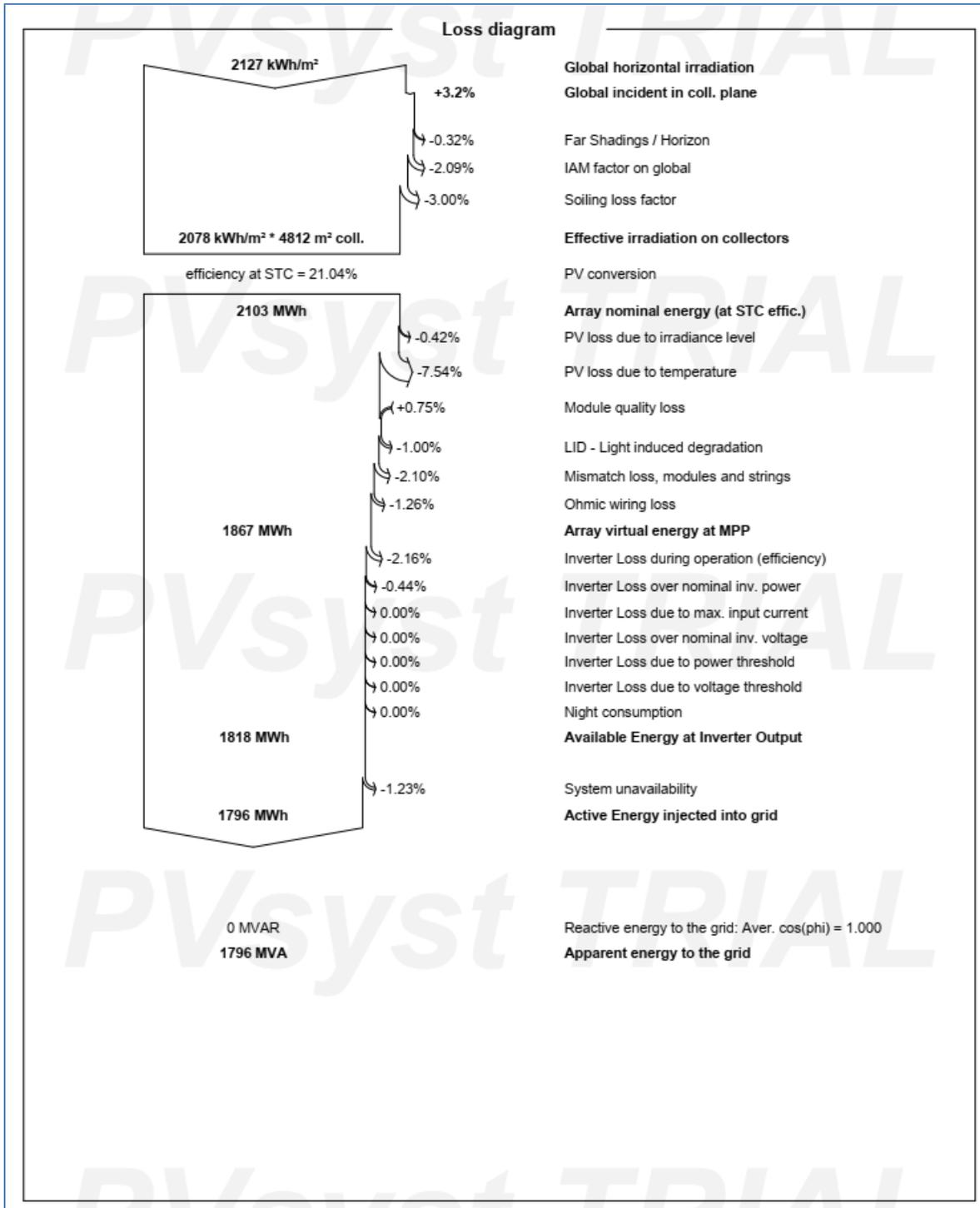


### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	174.0	44.88	25.70	200.3	190.7	170.5	144.4	0.712
February	165.2	52.97	26.46	180.8	172.1	152.1	148.7	0.813
March	202.3	61.14	27.10	210.5	199.7	175.2	171.3	0.804
April	190.8	75.49	27.25	188.4	178.1	158.7	155.3	0.814
May	183.1	86.35	27.01	174.5	164.6	148.4	145.2	0.822
June	179.2	74.51	26.02	166.9	157.1	142.4	139.4	0.825
July	200.0	75.97	26.79	187.7	177.1	159.5	156.1	0.822
August	183.6	78.43	26.48	178.4	168.3	151.5	148.2	0.821
September	173.0	67.35	25.47	175.4	166.0	147.9	144.6	0.815
October	156.7	71.97	25.57	167.1	157.9	142.5	139.5	0.825
November	157.5	55.23	25.33	177.0	167.7	150.4	147.2	0.822
December	161.4	42.48	25.68	187.6	178.5	159.7	156.2	0.823
Year	2126.7	786.77	26.24	2194.5	2077.6	1858.9	1796.0	0.809

#### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation  
DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
T\_Amb Ambient Temperature  
GlobInc Global incident in coll. plane  
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
EArray Effective energy at the output of the array  
E\_Grid Energy injected into grid  
PR Performance Ratio



## 9. CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA

CNE, «ESTADÍSTICAS DEL CONSEJO NACIONAL DE ENERGÍA,» 2013.

1] [En línea]. Available: <https://estadisticas.cne.gob.sv/>. [Último acceso: abril 2022].

E. Malagón, «BID,» 20 julio 2021. [En línea]. Available:

2] <https://blogs.iadb.org/energia/es/sistemas-de-almacenamiento-de-energia-descarbonizacion/>. [Último acceso: 2022].

A. Colthorpe, «Energy Storage,» 3 Marzo 2020. [En línea]. Available:

3] <https://www.energy-storage.news/china-deployed-855mwh-of-electrochemical-storage-in-2019-despite-slowdown/>. [Último acceso: Mayo 2022].

«Pv Magazine,» 7 Abril 2021. [En línea]. Available: [https://www.pv-](https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/strong-growth-ahead-for-storage/)

4] [magazine.com/magazine-archive/strong-growth-ahead-for-storage/](https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/strong-growth-ahead-for-storage/). [Último acceso: 2022].

WORLD ENERGY TRADE, «WORLD ENERGY TRADE,» 15 Enero 2022. [En

5] línea]. Available: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/agua-y-vapor/que-es-la-energia-hidroelectrica-por-bombeo>. [Último acceso: Mayo 2022].

VIAFINA, «SEGUROS RENOVABLES VIAFINA,» 2022. [En línea].

6] Available: <https://www.seguorenovables.com/energia-renovable/almacenamiento-de-energia/>. [Último acceso: abril 2022].

7] ECOINVENTOS, «ECOINVENTOS,» 1 Julio 2021. [En línea]. Available:  
<https://ecoinventos.com/mayores-baterias-aire-comprimido-del-mundo-almacenaran-hasta-10gwh/>. [Último acceso: Mayo 2022].

8] UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE MADRID, «RETEMA,» 4 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.retema.es/noticia/las-ventajas-de-almacenar-energia-mediante-aire-liquido-lt7MU>. [Último acceso: Mayo 2022].

9] ECOINVENTOS, «ECOINVENTOS,» 14 Febrero 2019. [En línea]. Available:  
<https://ecoinventos.com/primera-planta-de-almacenamiento-de-energia-de-aire-liquido-del-mundo/>. [Último acceso: Mayo 2022].

10] J. Villegas y V. Sergio, «SISTEMS DE ALMACENAMIENTO CINÈTICOS DE ENERGÌA,» Sevilla.

11] Twenergy, «Twenergy,» 23 Marzo 2019. [En línea]. Available:  
<https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energia/funcionamiento-del-volante-de-inercia-como-sistema-de-almacenamiento-de-energia-por-volante-de-inercia-2061/>. [Último acceso: Mayo 2022].

12] BEACON POWER, «BEACON POWER,» 2018. [En línea]. Available:  
<https://beaconpower.com/stephentown-new-york/>. [Último acceso: 2022].

13] Pontificia Universidad Catòlica de Chile, «Pontificia Universidad Catòlica de Chile,» [En línea]. Available:

[https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/csp/Casos\\_reales\\_estudio.html](https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/csp/Casos_reales_estudio.html). [Último acceso: Mayo 2022].

14] U.S. DEPARTMENT OF DE ENERGY, «The year of Concentrating Solar Power,» *Global ccs institute*, nº 6, p. 13, 2014.

15] R. Estèvez, «ECOINTELIGENCIA,» 10 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.ecointeligencia.com/2021/09/almacenar-energia-sistemas-quimicos-3/#:~:text=Los%20sistemas%20de%20almacenamiento%20qu%C3%ADmico,estas%20mol%C3%A9culas%20en%20procesos%20industriales..> [Último acceso: Mayo 2022].

16] j. L. Ramos, «Tecnologías y sistemas de almacenamiento,» Sevilla, 2019.

17] GNS components Limited, «GNS components Limited,» 18 Octubre 2019. [En línea]. Available: <http://es.led-diode.com/info/supercapacitor-energy-storage-principle-41392482.html>. [Último acceso: Mayo 2022].

18] D. M. Martínez y D. C. Villasana, «Catálogo de Tecnologías de almacenamiento de energía,» Jardines en la Montaña, Ciudad de México. C.P. 14210, 2020.

19] J. Andreotti, «Electronica y electricidad,» 28 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://egresadoselectronicaunc.blogspot.com/2015/01/bateria-de-plomo-acido-principio-de.html>. [Último acceso: Mayo 2022].

20] D. Lopez Sanchez, «Tecnología de las baterías,» Valladolid, 2019.

- A. Romero, «Baterías para almacenamiento de energía,» Sevilla.
- 21]
- Q. Vanessa y C. Osvaldo, «Baterías de ion litio: características y aplicaciones,»
- 22] *Revista de I+D Tecnológico*, 2020.
- T. Felipe, «Quora,» 2020. [En línea]. Available: [https://es.quora.com/Por-](https://es.quora.com/Por-qu%C3%A9-se-degradan-las-bater%C3%ADas-de-los-m%C3%B3viles-iones-de-litio)
- 23] [qu%C3%A9-se-degradan-las-bater%C3%ADas-de-los-m%C3%B3viles-iones-de-litio.](https://es.quora.com/Por-qu%C3%A9-se-degradan-las-bater%C3%ADas-de-los-m%C3%B3viles-iones-de-litio)  
[Último acceso: Mayo 2020].
- ECOINVENTOS, «ECOINVENTOS,» 2 Febrero 2017. [En línea]. Available:
- 24] [https://ecoinventos.com/tesla-mayor-planta-almacenamiento-baterias-en-el-mundo/.](https://ecoinventos.com/tesla-mayor-planta-almacenamiento-baterias-en-el-mundo/)  
[Último acceso: Mayo 2022].
- CNFL, «CNFL,» 8 Abril 2022. [En línea]. Available:
- 25] [https://www.cnfl.go.cr/servicios/electricos/inmuebles/tramites/tarifas.](https://www.cnfl.go.cr/servicios/electricos/inmuebles/tramites/tarifas) [Último acceso:  
Mayo 2022].
- S. Arnaltes y G. Manuel, «Sistemas de almacenamiento energético aplicaciones
- 26] de potencia para eólica,» Madrid.
- SWITCH MONTAJES, «SWITCH MONTAJES,» 2022. [En línea]. Available:
- 27] [http://switch-montajes.cl/sistemas-baes/.](http://switch-montajes.cl/sistemas-baes/) [Último acceso: Mayo 2022].
- M. Rosa, «El futuro del Solar Fotovoltaico: La generación distribuida y el
- 28] almacenamiento,» 18 Febrero 2020. [En línea]. Available:

<https://grupomerelec.com/2020/02/18/futuro-del-fotovoltaico-generacion-distribuida-y-almacenamiento/>. [Último acceso: 2022].

29] QKSOL, «QKSOL,» 12 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://qksol.com/diferencias-entre-inversores-hibridos-y-inversores-cargadores/esquema-1-2/>. [Último acceso: 2022].

30] «Cambio energético,» [En línea]. Available: <https://www.cambioenergetico.com/blog/inversores-hibridos-2022-residencial/>.

31] REKOSER, «Controladores de carga PWM,» *REKOSER*, 2022.

32] M. P. Marietta, «ResearchGate,» Julio 2017. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/318284424\\_Integracion\\_de\\_un\\_algoritmo\\_de\\_gestion\\_de\\_una\\_bateria\\_de\\_Pb-acido\\_en\\_una\\_estrategia\\_de\\_control\\_optimo\\_para\\_microredes](https://www.researchgate.net/publication/318284424_Integracion_de_un_algoritmo_de_gestion_de_una_bateria_de_Pb-acido_en_una_estrategia_de_control_optimo_para_microredes). [Último acceso: 31 mayo 2022].

33] E. Rodriguez, «AREATECNOLOGICA,» [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>. [Último acceso: mayo 2022].

34] SUMINISTROS MSE, «SUMINISTROS MSE,» 16 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.msesupplies.com/blogs/news/78992772-reinventing-lithium-ion-batteries-to-reduce-costs-and-boost-performance>. [Último acceso: 2022].

MSSA Mario Schinocca S.A., «MSSA Mario Schinocca S.A.,» 2022. [En línea].  
35] Available: <https://marioschinocca.com/otros-productos/33-transferencias-automaticas.html>. [Último acceso: 2022].

BENY Electric, «BENY Electric,» 2022. [En línea]. Available:  
36] <https://www.beny.com/es/products/>. [Último acceso: 2022].

EATON, «EATON,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.eaton.com/mx/es-](https://www.eaton.com/mx/es-mx/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/automatic-transfer-switches/automatic-transfer-switch-fundamentals.html)  
37] [mx/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/automatic-transfer-switches/automatic-transfer-switch-fundamentals.html](https://www.eaton.com/mx/es-mx/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/automatic-transfer-switches/automatic-transfer-switch-fundamentals.html). [Último acceso: Mayo 2022].

COMISIÓN DE LA REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, «MECANISMOS  
38] PARA INCORPORAR SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON BATERIAS EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL,» p. 34, 2019.

D. Patarroyo, R. Porras y A. Campos, «Sistemas de gestión de baterías (BMS) y  
39] su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS),» *TECNURA*, p. 7, 2015.

A. Solovev, «Digi-key,» 28 Septiembre 2021. [En línea]. Available:  
40] <https://www.digikey.es/es/articles/bess-a-solution-to-manage-energy-proactively>.  
[Último acceso: Mayo 2022].

U. Standard, «Baterias de reserva UL 1989,» 2013.  
41]

WEG, «WEG,» 2022. [En línea]. Available:  
42] [https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Generaci%C3%B3n%20Transmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Almacenamiento-de-Energ%C3%ADa-de-Bater%C3%ADas/Almacenamiento-de-Energ%C3%ADa-de-Bater%C3%ADas-%28BESS%29/p/MKT\\_WDC\\_GLOBAL\\_SYSTEM\\_ESSW](https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Generaci%C3%B3n%20Transmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Almacenamiento-de-Energ%C3%ADa-de-Bater%C3%ADas/Almacenamiento-de-Energ%C3%ADa-de-Bater%C3%ADas-%28BESS%29/p/MKT_WDC_GLOBAL_SYSTEM_ESSW). [Último acceso: Mayo 2022].

TESLA, «TESLA,» 2022. [En línea]. Available:  
43] [https://www.tesla.com/es\\_MX/POWERPACK](https://www.tesla.com/es_MX/POWERPACK). [Último acceso: mayo 2022].

Power Star, «Power Star,» 2017. [En línea]. Available:  
44] <http://www.isspower.com/powerstar-virtue>. [Último acceso: mayo 2022].

«facua,» [En línea]. Available:  
45] <https://www.facua.org/simuladores/simulador.php?Id=3>.

H. A. Tabares y J. A. Hernández, «MAPEO CURVAS TÍPICAS, DEMANDA DE  
46] ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN, USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y ALGORITMOS DE INTERPOLACIÓN.,» Quindío, 2007.

L. Guzman Gomez, «DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA TÉCNICA  
47] PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA PARA EMPRESAS DEL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO.,» [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71396059.pdf>.

YSUCA, «YSUCA, 91.7FM,» 10 Abril 2020. [En línea]. Available:  
48] <https://ysuca.org.sv/2020/04/el-salvador-vive-bajo-una-ola-de-calor/#:~:text=De%20momento%20la%20temperatura%20m%C3%A1xima,registrada%20en%20abril%20del%202002.>

SNET, «SNET Servicio Nacional de Estudios Territoriales,» [En línea].  
49] Available: <http://www.snet.gob.sv/meteorologia/ff012006.htm..>

E. G. O. Everaldo Mejía Mejía, «Tesis de Maestría: Índices de producción de  
50] energía fotovoltaica en el AMSS,» San Salvador, 2015.

U. Standard, «Estándar para baterías de reserva UL 1989,» 2013.  
51]

U. Standard, «Estándar para baterías domesticas y comerciales,» 2013.  
52]

N. E. (UNE), «Normalización Española (UNE),» 10 Abril 2001. [En línea].  
53] Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0026494#:~:text=Requisitos%20de%20seguridad%20para%20las%20bater%C3%ADas%20e%20instalaciones%20de,Parte%202%3A%20Bater%C3%ADas%20estacionarias..> [Último acceso: 10 11 2022].

CNE, «NORMATIVA PARA USUARIOS FINALES PRODUCTORES DE  
54] ENERGÍA,» 11 OCTUBRE 2017. [En línea]. Available:  
<http://energiasrenovables.cne.gob.sv/index.php/2021/02/12/normativa-para-usuarios->

