

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN  
FOTOVOLTAICA APLICADA A LA FUNDACIÓN “CHILDREN OF THE  
ANDES HUMANITARIAN”**

**AUTOR:  
NELSON DAVID SIMBAÑA VÉLIZ**

**TUTOR:  
ALEX DAVID VALENZUELA SANTILLÁN**

**Quito, febrero del 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Nelson David Simbaña Véliz, con documento de identificación N° 1725707614, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: Estudio de factibilidad para el sistema de generación fotovoltaica aplicada a la fundación “Children of The Andes Humanitarian”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



-----  
Nelson David Simbaña Véliz

CI. 1725707614

Quito, febrero del 2021.

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico: **Estudio de factibilidad para el sistema de generación fotovoltaica aplicada a la fundación “Children of The Andes Humanitarian”**, realizado por Nelson David Simbaña Véliz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.



---

Alex David Valenzuela Santillán

C.I. 1721848644

Quito, febrero de 2021

## **DEDICATORIA**

Quiero agradecer a mis padres que toda la vida me enseñaron el valor del estudio, a toda mi familia en especial a mi tía y mi abuela que me ayudaron a lo largo de mi carrera universitaria convirtiéndose en mi segunda madre, a mi abuelo que desde el cielo me guía siempre por el buen camino y sé que está orgulloso del gran hombre y profesional que soy, mi hermano y mis primos que son mi apoyo emocional, siempre he contado con ellos en los buenos y malos momentos. Mi esposa que me apoyó en todo momento y desde que estuvo a mi lado hasta este momento. Para ellos va dedicado este documento que da por concluido mi carrera universitaria.

Nelson David Simbaña Veliz

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primero a Dios por haberme dado los padres que me tocaron, mi familia que fue un gran apoyo durante mi carrera sin ellos no hubiera podido llegar hasta este momento de mi vida, agradezco a Nelson Bolívar Simbaña mi padre que desde pequeño siempre quiso darme la mejor educación posible, se puso eso de meta y lo logro me dio todo lo que un hijo necesitaba con tanto esfuerzo y valentía, mi madre Verónica Veliz sin el apoyo de ella nada de lo que he logrado se hubiese consolidado ella es mi motor y mi guía para siempre salir adelante, se los agradezco tanto. Mi esposa que estuvo en los momentos donde necesitaba un abrazo y que me digan hazlo tú puedes.

Nelson David Simbaña Veliz

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE .....	v
GLOSARIO .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Importancia y Alcances.....	1
1.3 Delimitación del Problema.....	2
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2 Energías renovables .....	3
2.1 Energía eólica.....	4
2.2 Energía geotérmica .....	4
2.3 Energía hidráulica .....	5
2.4 Energía solar .....	5
2.5 Especificaciones generales de un sistema fotovoltaico.....	6
2.6 Arreglos básicos de celdas fotovoltaicas y tipos de radiación solar .....	6
2.7 Hora Solar Pico (HSP) .....	14
2.6 Panel Fotovoltaico.....	14

2.7 Expresión matemática del panel fotovoltaico .....	14
2.8 Generación de celdas solares .....	16
2.9 Especificaciones técnicas y tecnológicas de los paneles fotovoltaicos.....	17
2.10 Sistema de almacenamiento .....	18
2.11 Regulador de carga.....	20
2.12 Inversor con conexión a la red .....	21
2.13 Corriente en unidad de tiempo .....	23
2.14 Rendimiento global del sistema .....	23
2.15 Sistemas conectados a la red con almacenamiento (On Grid) .....	25
2.16 Elementos de protección .....	27
2.17 Conductores .....	27
2.18 Tipos de estructura de soporte .....	28
2.19 Distancia mínima entre módulos.....	29
2.20 Demanda energética .....	30
2.21 Dimensionamiento del tiempo de reembolso .....	30
2.22 Software computacional.....	31
CAPÍTULO III.....	32
CASOS DE ESTUDIO .....	32
3.1 Datos de la velocidad del viento en la Fundación COTAH.....	32
3.2 Factibilidad de un sistema eólico en la Fundación COTAH.....	32
3.3 Parámetros de diseño .....	33
3.4 Caso 1 de diseño .....	33
3.5 Estudio de irradiación solar en la Fundación COTAH .....	33
3.6 Calculo de la HSP (Hora Solar Pico).....	37
3.7 Inclinación del panel fotovoltaico.....	38
3.8 Distancia mínima entre los paneles fotovoltaicos.....	39
3.9 Estudio de carga de la fundación COTAH.....	39

3.10 Estudio de carga .....	39
3.11 Dimensionamiento del panel fotovoltaico .....	41
3.12 Calculo de la corriente por hora .....	41
3.13 Cantidad de paneles requeridos para la instalación fotovoltaica .....	41
3.14 Potencia del sistema fotovoltaico.....	42
3.15 Intensidad del sistema fotovoltaico.....	42
3.16 Cantidad de paneles para un sistema fotovoltaico conectado a la red .....	43
3.17 Dimensionamiento del regulador de carga.....	43
3.18 Dimensionamiento del grupo de almacenamiento de energía. ....	43
3.19 Cantidad de baterías en paralelo .....	44
3.20 Cantidad de baterías en serie.....	44
3.21 Cálculo de conductores parte superior y parte inferior .....	44
3.22 Dimensionamiento del inversor .....	45
3.23 Costo de kW instalado .....	47
3.24 Energía mensual entregada por el sistema fotovoltaico.....	48
3.25 Costo por consumo.....	48
3.26 Tiempo de reembolso.....	48
3.27 Cuadro resumen .....	49
3.28 Caso 2 de diseño .....	50
3.29 Caso 3 de diseño .....	51
CAPÍTULO IV.....	53
Modelamiento Homer pro.....	53
4.1 Parte superior de la fundación COTAH.....	57
4.2 Parte inferior de la fundación COTAH.....	60
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	62
CAPITULO V .....	64
CONCLUSIONES .....	64

RECOMENDACIONES .....	64
REFERENCIAS .....	65
ANEXOS .....	1

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del COTAH .....	2
Figura 2. Energías renovables .....	3
Fuente: El autor .....	3
Figura 3. Aerogenerador .....	4
Figura 4. Energía geotérmica .....	5
Figura 5. Energía hidráulica .....	5
Figura 6. Energía solar .....	6
Figura 7 Conexión serie, paralelo de módulos fotovoltaicos .....	7
Figura 8. Demostracion de la radiacion solar.....	10
Figura 9. Esquema de la difusión de la luz solar.....	10
Figura 10. Esquema de la radiación solar difusa.....	10
Figura 11. Piranómetro de radiación global .....	11
Figura 12. Espectro solar fuera de la atmosfera y a nivel del mar .....	12
Figura 13. Hora solar pico.....	14
Figura 14 Regulador de carga .....	20
Figura 15 Inversor de corriente .....	22
Figura 16. Protecciones eléctricas.....	27
Figura 17. Soporte fijo para panel solar .....	28
Figura 18. Instalación de un seguidor solar .....	29
Figura 19. Demanda eléctrica .....	30
Figura 20. Radiación Difusa .....	34
Figura 21. Radiacion directa .....	35
Figura 22. Radiación Global .....	36
Figura 23. Radiación Promedio.....	37
Figura 24. Datos de coordenadas en software Homer pro .....	53
Figura 25. Perfiles diarios de carga.....	54
Figura 26. Datos de irradiación solar de la fundación COTAH.....	55
Figura 27. Configuracion del sistema fotovoltaico parte superior.....	55
Figura 28. Configuración del sistema fotovoltaico parte inferior .....	55
Fuente: Homer.....	55
Figura 29. Estado de carga de la batería .....	59
Figura 30. Estado de carga de la batería .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de radiaciones y sus longitudes de onda.....	11
Tabla 2 Tipos de radiaciones infrarrojas según se longitud de onda.....	.12
Tabla 3. Insolación promedio de los últimos 10 años en el Ecuador en [kWh $m - 2$ día - 1].....	13
Tabla 4. Índice de claridad promedio 10 años en Ecuador.....	13
Tabla 5. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.....	15
Tabla 6. Tecnologías de paneles fotovoltaicos.....	17
Tabla 7. Comparación de tecnologías de baterías.....	19
Tabla 8. Valores que puede tomar $KB$ .....	23
Tabla 9. Valores que puede tomar $KC$ .....	24
Tabla 10. Valores que puede tomar $KR$ .....	24
Tabla 11. Valores que puede tomar $KV$ .....	24
Tabla 12. Valores que puede tomar $KA$ .....	24
Tabla 13. Valores que puede tomar $N$ .....	24
Tabla 14. Valores que puede tomar $Pd$ .....	24
Tabla 15. Ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos.....	26
Tabla 16. Valor promedio del viento en Otavalo.....	32
Tabla 17. Valor promedio mensual de la radiación difusa.....	34
Tabla 18. Valor promedio mensual de la radiación directa.....	35
Tabla 19. Valor promedio mensual de la radiación global.....	36
Tabla 20. Valor promedio anual de radiación difusa, directa y global.....	37
Tabla 21. Insolación Promedio en Ibarra en MJ.....	37
Tabla 22. Coeficientes de corrección.....	38
Tabla 23. Estudio de carga de la fundación COTAH parte superior.....	40
Tabla 24. Estudio de carga de la fundación COTAH parte inferior.....	40
Tabla 25. Especificaciones técnica Batería sbb Gel 130 AH.....	43
Tabla 26. Tabla para encontrar la potencia del inversor parte inferior.....	45
Tabla 27. Tabla para encontrar la potencia del inversor parte inferior.....	..47
Tabla 28. Resumen técnico parte superior de la fundación COTAH.....	49

Tabla 29. Resumen técnico parte inferior de la fundación.....	49
Tabla 30. Costos de principales elementos parte superior.....	49
Tabla 31. Costos de principales elementos parte inferior.....	50
Tabla 32. Elementos varios.....	50
Tabla 33. Propuesta 2 de diseño.....	51
Tabla 34. Costo caso 2 de diseño.....	51
Tabla 35. Propuesta 3 de diseño.....	52
Tabla 36. Costo caso 3 de diseño.....	52
Tabla 37. Datos para la modelación.....	54
Tabla 38. Costo anualizado de la instalación parte superior.....	57
Tabla 39. Producción de energía durante el año.....	57
Tabla 40. Excedente de electricidad.....	57
Tabla 41. Resultados energéticos de la batería.....	59
Tabla 42. Especificaciones del inversor.....	59
Tabla 43. Costo total de la instalación parte inferior.....	60
Tabla 44. Producción de energía durante el año.....	60
Tabla 45. Excedente de electricidad.....	60
Tabla 46. Resultados energéticos de la batería.....	61
Tabla 47. Especificaciones del inversor.....	61
Tabla 48. Resumen de costos de las propuestas.....	59



## **GLOSARIO**

- COTAH: Acrónimo de la fundación Children of The Andes Humanitarian.
- Homer pro: Software para realizar proyectos de energías renovables.
- Sistema Off-Grid: Es un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica convencional.
- Sistema On-Grid: Es un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica convencional.
- MPPT: Maximum Power Point Tracker. (Punto máximo de transferencia)
- SEP: Sistema Eléctrico de Potencia.
- HSP: Hora solar pico.
- DOP: Depth of Discharge (profundidad de descarga).
- PWM: Modulación por ancho de pulso.

## **RESUMEN**

A continuación se presenta el trabajo que contiene el estudio de factibilidad de la instalación de un sistema fotovoltaico para las instalaciones de la fundación COTAH pueda instalar el diseño debía suplir toda la demanda energética de la fundación, el diseño más viable tanto técnica como económicamente es un sistema conecta a la red con almacenamiento, la fundación cuenta con un gran espacio en sus instalaciones para poder instalar el sistema fotovoltaico, para realizar el modelamiento y observar si cumple con el requerimiento energético se utilizó Homer pro, es un software para el modelamiento de energías renovables, antes de realizar el diseño del sistema se realizó un estudio de irradiación solar tomando los datos del “Atlas Solar del Ecuador” y así consiguiendo la HSP, para realizar la estimación de carga de la fundación COTAH se utilizó tablas. Con este proyecto los representantes de la fundación esperan ser autosustentables energéticamente, además quieren inculcar en sus estudiantes el cuidado al medio ambiente, demostrándoles que se puede generar energía eléctrica a partir de generación distribuida, caso particular de este estudio, generación solar fotovoltaica. Para finalizar se presenta el presupuesto detallado del costo total de la inversión, el cual tendrá un tiempo de reembolso de 19 años aproximadamente.

## **ABSTRACT**

Below is the work that contains the feasibility study of the installation of a photovoltaic system for the facilities of the COTAH foundation to install the design should supply all the energy demand of the foundation, the most technically and economically viable design is a system connects to the grid with storage, the foundation has a large space in its facilities to install the photovoltaic system, to perform the modeling and see if it meets the energy requirement, Homer pro was used, it is software for energy modeling Before carrying out the design of the system, a solar irradiation study was carried out taking the data from the "Solar Atlas of Ecuador" and thus obtaining the HSP, to carry out the load estimation of the COTAH foundation, tables were used. With this project, the representatives of the foundation hope to be energy self-sustaining, and they also want to instill in their students care for the environment, showing them that electricity can be generated from distributed generation, a particular case of this study, photovoltaic solar generation. Finally, the detailed budget of the total cost of the investment is presented, which will have a repayment period of approximately 19 years.

## INTRODUCCIÓN

Se analiza la factibilidad para la instalación de un sistema fotovoltaico en la fundación COTAH, buscando una manera más eficiente para la generación de electricidad, la fundación tiene como visión ser un ente autosustentable en términos energéticos, por lo que un sistema fotovoltaico es una opción viable técnicamente hablando, por las condiciones climatológicas de la zona. Se desea que los estudiantes sean condescendientes con el medio ambiente y opten por nuevas y mejoradas formas de generación eléctrica. De igual manera la red eléctrica convencional que suministra electricidad a la fundación es deficiente, por lo que con la implementación del sistema fotovoltaico se tiene una mejora en el perfil de tensión. El diseño se basará en el modelo isotrópico de Pérez, el modelo se encuentra basado en la irradiación global de la superficie, mediante el software computacional Homer pro se realiza el modelamiento técnico y económico del sistema fotovoltaico. Se plantea 3 diferentes casos de estudio, para elegir el diseño que sea conveniente en la fundación se debe considerar 2 aspectos, el factor técnico y el factor económico, el diseño debe ser capaz de satisfacer las necesidades energéticas de la fundación, y el factor económico es relevante ya que el diseño debe ser viable y realizable. En el Capítulo I se presenta los problemas energéticos de la fundación y las soluciones. Para el Capítulo II; está el marco teórico, se detalla elementos que son parte del sistema fotovoltaico, las fórmulas que se emplearán en la planeación del diseño, y parámetros técnicos que se requieren al momento de realizar un diseño con generación de energía eléctrica por medio del recurso que nos ofrece los rayos solares.

Para lo referente al modelamiento del sistema fotovoltaico, se encuentra detallado cada uno de los parámetros con sus respectivas formulas, los datos fueron sacados de base de datos con buena categorización para este caso se utilizó pvwatts para encontrar datos de irradiación solar, se estudió la factibilidad de instalar un sistema hibrido con energía eólica. El capítulo IV hace referencia al modelamiento del sistema en el software Homer pro, se detallan los datos obtenidos, haciendo una comparación entre los datos del Homer pro y el autor. El capítulo V se nombran las conclusiones y recomendaciones obtenidas por el autor al cabo de su análisis.

## **CAPÍTULO I**

### **DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes**

La fundación “Children Of The Andes Humanitarian” desea ser un modelo energético en el país, integrando energías renovables en sus instalaciones logrando ser autosustentables energéticamente. El diseño del sistema fotovoltaico deberá satisfacer las necesidades energéticas de la fundación como circuitos de iluminación y fuerza. Con el diseño del sistema fotovoltaico se espera que el perfil de tensión, y la corriente mejoren considerablemente, al momento que la energía eléctrica proveniente de la red eléctrica convencional no sea capaz de entregar la energía requerida o se presenten perturbaciones en condiciones operativas del sistema eléctrico se procederá a utilizar la energía eléctrica almacenada por el sistema de almacenamiento del sistema fotovoltaico en las horas de menor consumo. Se presenta una breve descripción de los equipos asociados con la instalación del sistema fotovoltaico tales como reguladores de carga, inversores, banco de baterías, etc., se realizará arreglos serie paralelo de paneles fotovoltaicos dando como resultado un sistema que no tenga complicaciones energéticas ante alguna contingencia climatológica. En los últimos años a nivel mundial los países han tenido un avance considerable en el ámbito energético en especial las energías renovables. Se han realizado regulaciones promoviendo la instalación y uso de energías limpias a mediana y gran escala.

#### **1.2 Importancia y Alcances**

El presente documento tendrá varias alternativas de diseños fotovoltaicos para suministrar energía eléctrica a las aulas y edificios dentro de la fundación, y así tener la mejor opción teniendo en cuenta el factor técnico-económico, también se debe tener en cuenta las consideraciones estéticas. Es importante que el lugar donde se vaya a realizar el diseño tenga los niveles de irradiación adecuados, los datos serán extraídos del “Atlas Solar del Ecuador”, una vez obtenidos los niveles de irradiación solar se podrá calcular la HSP (Hora Solar Pico). Mediante Homer se simulará el tiempo en el cual el sistema empezará a tener réditos económicos y así recuperar la inversión inicial realizada por parte de los representantes de la fundación. Se tendrá dos sistemas diferentes, el primero será instalado en la parte superior de la fundación donde se tiene tres edificaciones, la parte inferior donde se encuentran ubicadas las salas de estudio, las oficinas centrales de la fundación y una planta pasteurizadora. El diseño debe

cumplir con las normas “NEC-10” para sistemas aislados y conexión de Red de 100 kW.

### 1.3 Delimitación del Problema

La fundación “Children Of The Andes Humanitarian” (COTAH) que se encuentra ubicado en Otavalo a 96 km de Quito, desea implementar energías renovables libre de contaminación, logrando que la fundación COTAH sea autosustentable energéticamente, eso creará mayor empleo para los habitantes de pueblos aledaños, los estudiantes tendrán una mayor conciencia energética. Las producciones de energía eléctrica por medios convencionales han tenido un declive a causa del calentamiento global, el agotamiento de recursos a largo plazo, por lo que las energías renovables han tenido un mayor impacto en la sociedad, grandes países como España han realizado grandes inversiones con la implementación de parques solares aprovechando extensas y solitarios desiertos, y es importante denotar que los sistemas fotovoltaicos dan estabilidad al SEP (Sistema Eléctrico de Potencia).



**Figura 1.** Ubicación del COTAH

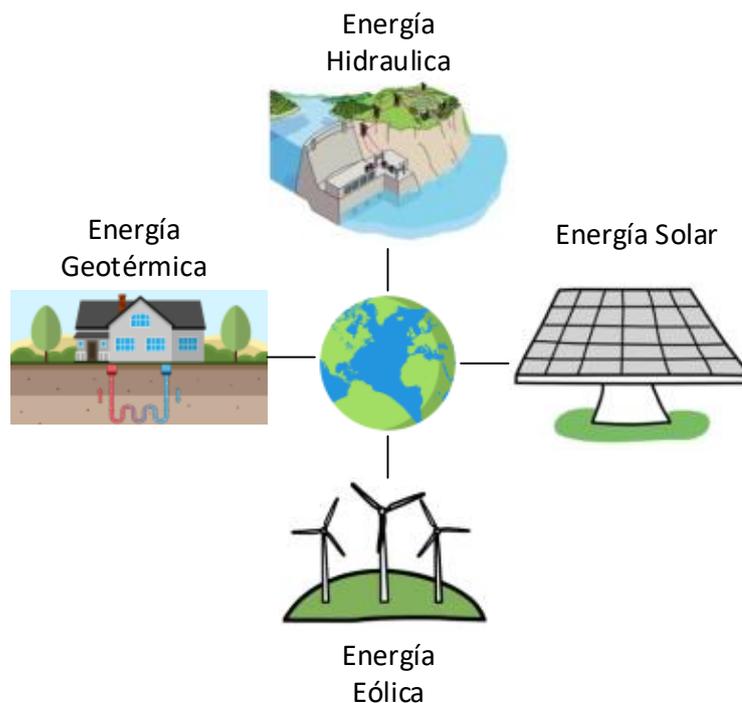
Fuente: Google Earth

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2 Energías renovables

El uso de energías renovables tiene como principal objetivo suministrar energía eléctrica limpia al incremento sucesivo de la demanda energética, las energías deben ser eficientes y tener un índice de confiabilidad muy alto, por lo tanto, tienen que ser consecuente con el medio ambiente y hacer que sus índices de contaminación se mantengan lo más bajo posible. Las energías renovables son limpias y sus recursos son inagotables, pero cada fuente renovable tiene un alto grado de situación climatología para cada zona donde se vaya aplicar este tipo de generación eléctrica. Para clasificar estas fuentes energéticas es necesario tener en cuenta dos conceptos, el primero es el aprovechamiento energético del planeta, esto permite saber si una fuente de energía es inagotable o no, el segundo concepto es que si con la utilización de estos recursos va a generar residuos tóxicos nocivos para el medio ambiente. Teniendo en cuenta estos dos conceptos podemos definir si la generación de electricidad que se está refiriendo, es respetuosa al medio ambiente, ya que en su mayoría las energías no cumplen con estos parámetros para que se puedan llamar energías limpias. [1]



**Figura 2.** Energías renovables  
Elaborado por: Nelson Simbaña

## 2.1 Energía eólica

Aprovechando las corrientes de aire, se genera una fuerza mecánica sobre las palas del aerogenerador cuyo movimiento posteriormente es aprovechado para la generación de energía eléctrica, este principio de funcionamiento se lo puede observar en molinos de viento. En Europa Reino Unido y España son los países que poseen más capacidad de energía eólica instalada con 2,4 GW y 2,3 GW, respectivamente [2]. El tercer país con mayor energía eólica instalada lo ocupa Alemania con 2,2 GW. [3]



**Figura 3.** Aerogenerador

Fuente: IEEE Energías renovables

## 2.2 Energía geotérmica

La energía geotérmica aprovecha el calor de las fisuras internas que poseen las placas tectónicas del planeta tierra, este tipo de tecnología no tiene gran acogida, En Europa es donde más se emplean estos tipos de sistemas como, por ejemplo, Suecia, Finlandia, Alemania. En Estados Unidos de igual manera se utiliza con frecuencia este recurso energético, en Ecuador también se utiliza este recurso, pero no a gran escala como en otros países, se tiene previsto proyectos internos de generación geotérmica en los alrededores del volcán Chachimbiro. [3] [4]



**Figura 4.** Energía geotérmica

Fuente: Energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos

### **2.3 Energía hidráulica**

Se aprovecha el movimiento de agua para que las turbinas generen una fuerza motriz por lo que se genera electricidad a partir de energía mecánica [4], en la mayor parte de países que cuentan con el recurso hídrico, la energía que se genera a partir de un sistema hidráulico es su principal enfoque de generación, acompañadas de otras fuentes de energías renovables como solar, térmicas, eólicas. Ecuador tiene planes para que sus centras hidráulicas puedan abastecer el 75 % de la demanda energética del país, en la última década con la incorporación de 5 centrales Ecuador alcanzó el mayor porcentaje de generación hidráulica. [3]



**Figura 5.** Energía hidráulica

Fuente: Energía eléctrica José Francisco Sanz

### **2.4 Energía solar**

El sol es el recurso energético más abundante que existe en el planeta tierra, así que tiene que ser aprovechado para producir electricidad de manera limpia y sin contaminación [6]. Dentro del sol se produce un fenómeno llamada fusión nuclear que es lo que genera la energía solar, y viaja a través del espacio en forma de fotones, la

cantidad de energía que se puede almacenar depende de cómo está ubicado el aparato receptor se requieren dispositivos artificiales como colectores solares específicamente para recoger energía, también se utilizan paneles fotovoltaicos para hacer la transformación de energía y son uno de los más usados, en el índice 2,6 se detallará de mejor manera las condiciones que necesitan los sistemas fotovoltaicos para lograr la conversión de energía. [4]



**Figura 6.** Energía solar

Fuente: La energía solar aplicaciones prácticas CENSOLAR

## **2.5 Especificaciones generales de un sistema fotovoltaico.**

Para que un sistema fotovoltaico sea factible debe contar con condiciones climatológicas favorables como la principal característica la irradiación solar del lugar. En basándose a valores adquiridos dentro de lo que muestra el libro “Atlas solar del Ecuador” se conocerá datos importantes como, irradiación del lugar donde se encuentra ubicada la Fundación COTAH.

## **2.6 Arreglos básicos de celdas fotovoltaicas y tipos de radiación solar**

Las celdas solares pueden configurarse en serie o paralelo, dependiendo el número de módulos conectados se puede variar la potencia, el voltaje y corriente. [5]

- Para incrementar el voltaje: conectando los módulos en serie se puede obtener mayores voltajes de salida, el voltaje responde a la sumatoria de los voltajes generados por cada módulo. [5]

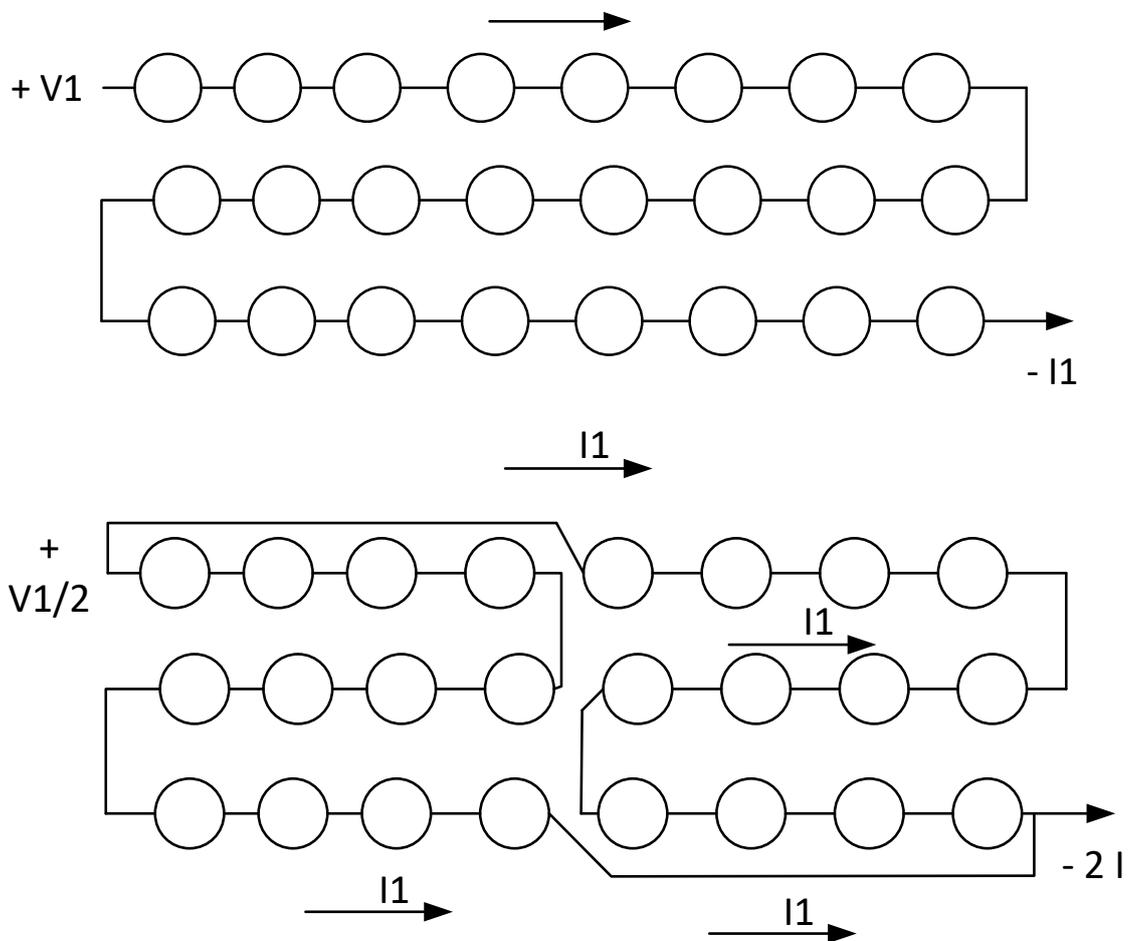
$$V_T = v1 + v2 + v3 + \dots$$

- Para incrementar la corriente: conectando los módulos en paralelo se incrementa la corriente, pero el voltaje del módulo sigue siendo el mismo, la corriente de salida va a ser la sumatoria de todas las corrientes. [5]

$$I_T = I1 + I2 + I3 + \dots$$

Al conectar los módulos en paralelo la corriente fluirá en ambos sentidos y para evitar que la corriente fluya a través del módulo se colocan dispositivos electrónicos de bloqueo, estos dispositivos proporcionan caminos auxiliares con el fin de que no haya un retorno de corriente hacia las celdas solares [8]. Cuando el panel deja de recibir energía solar no genera corriente eléctrica por lo que los demás paneles lo ven como una carga más para el sistema. Por lo tanto, este panel fotovoltaico tendrá un consumo de corriente. Por ende, su temperatura aumentará por lo que se degradará en un menor tiempo.

En la figura 7. se muestra un arreglo serie paralelo. Para el cálculo de los dispositivos electrónicos de protección se calcula según la corriente máxima que genera el conjunto de celdas fotovoltaicas sin importar las configuraciones serie-paralelo, lo que se toma en cuenta es que el arreglo este cortocircuito.[5]



**Figura 7** Conexión serie, paralelo de módulos fotovoltaicos

Elaborado por: Nelson Simbaña

Para un correcto dimensionamiento se debe realizar un estudio de carga donde se encuentren todos los aparatos con sus respectivas potencias en [w], el tiempo de uso de cada uno de ellos, se utiliza la expresión 1: [5]

$$E_{nec} = \frac{Carga}{RG} \quad (1)$$

Donde:

$E_{nec}$ = Energía necesitada [Wh/día].

Carga= Carga a conectarse en [Wh/día].

RG= Rendimiento global.

Considerando los valores de la energía necesitada, la corriente por hora se puede calcular el número de paneles fotovoltaicos en paralelo para suministrar la energía eléctrica requerida por el sistema, para ello se utiliza la expresión 2: [5]

$$N_{pa} = \frac{E_{nec}/V_{sis}}{I_{pd}} \quad (2)$$

Donde:

$V_{sis}$ = Voltaje del sistema, valor considerado en voltios [v].

$I_{pd}$ = Corriente por hora en cada panel [Ah/día].

$E_{nec}$ = Energía necesitada [Wh/día].

$N_{pa}$ = Número de cadenas en paralelo.

También es necesario conocer el número de paneles en serie para el sistema, por lo que se utiliza la expresión 3: [5]

$$N_{se} = \frac{V_{sis}}{V_{npa}} \quad (3)$$

Donde:

$V_{sis}$ = Voltaje del sistema, valor considerado en voltios [v].

$V_{npa}$ = Voltajes en voltios nominales presentes para el panel [v].

$N_{se}$ =Cadenas en serie

Finalmente, se calcula con exactitud la cantidad de celdas fotovoltaicas necesarias para la instalación fotovoltaica se utilizará la expresión 4: [5]

$$N_{mo} = N_{se} * N_{pa} \quad (4)$$

Donde:

$N_{se}$  = Cadenas en serie

$N_{pa}$  = Cadenas en paralelo.

$N_{mo}$  = Paneles necesarios.

Es importante saber el valor de la potencia generada por el arreglo fotovoltaico, ya que con ese valor se puede definir la potencia que se obtiene según la potencia de cada panel fotovoltaico que se va a utilizar para la instalación, para ello se utiliza la expresión 5: [5]

$$P_{cf} = P_{max} * N_{mo} \quad (5)$$

Donde:

$P_{max}$  = Potencia máxima del panel.

$N_{mo}$  = Numero de paneles necesarios.

$P_{cf}$  = Potencia de campo fotovoltaico.

Para encontrar el valor de la corriente del arreglo fotovoltaico se utiliza la expresión 6: [5]

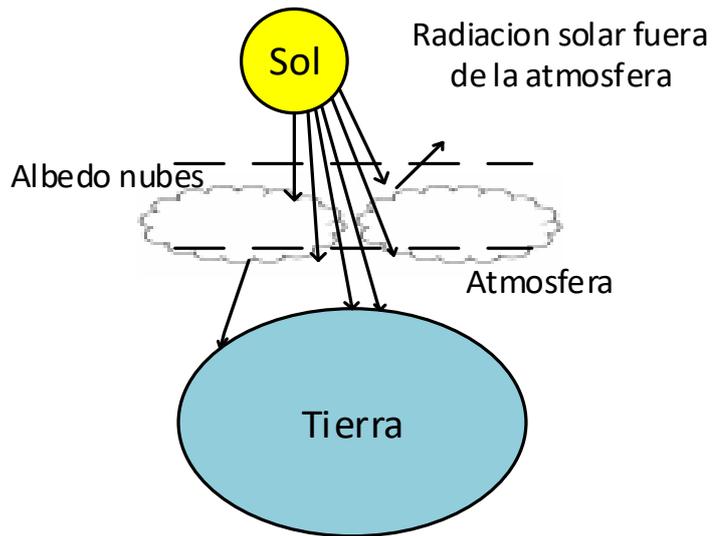
$$I_{cf} = I_{mp} * N_{pa} \quad (6)$$

Donde:

$I_{mp}$  = Intensidad en el punto máximo de potencia [A].

$N_{pa}$  = Número de cadenas en paralelo.

$I_{cf}$  = Intensidad de corriente de campo fotovoltaico [A].

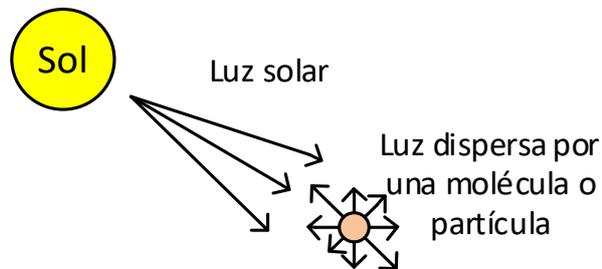


**Figura 8.** Demostración de la radiación solar

Elaborado por: Nelson Simbaña

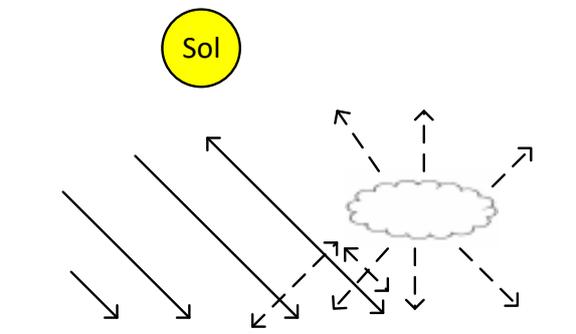
**Radiación solar directa y difusa:**

- Cuando hablamos de radiación directa nos referimos a la radiación que proviene directamente del sol. [13]
- La radiación solar difusa proviene del cielo y las nubes.



**Figura 9.** Esquema representativo a difusión que sufre la luz solar

Fuente: Universidad de Barcelona departamento de astronomía y meteorología



**Figura 10.** Esquema de la radiación solar difusa

Elaborado por: Nelson Simbaña

Cuando el cielo está despejado, la irradiancia directa es la predominante durante las horas de mayor incidencia solar, y va variando según el ángulo del sol. La irradiancia

total es la sumatoria del conjunto de irradiancias (directa/difusa), se puede medir con piranómetros en los observatorios astronómicos.



**Figura 11.** Piranómetro de radiación global

Fuente: Catálogo Sensovant

### **Tipos de radiación solar:**

Para conocer los efectos de la radiación se debe conocer la longitud de onda o intervalo espectral. [14]

**Tabla 1** Diferentes radiaciones y sus longitudes de onda

CLASE DE RADIACIÓN	LONGITUD DE ONDA
Rayos gamma	< 0,1 mm
Rayos X	0,1 – 100 mm
Ultravioleta C	100 – 280 nm
Ultravioleta B	280 – 320 nm
Ultravioleta A	320 – 400 nm
Visible	400 – 700 nm
Infrarrojo A	700 nm – 1,4 $\mu\text{m}$
Infrarrojo B	1,4 – 3,0 $\mu\text{m}$
Infrarrojo C	3,0 $\mu\text{m}$ – 1 mm

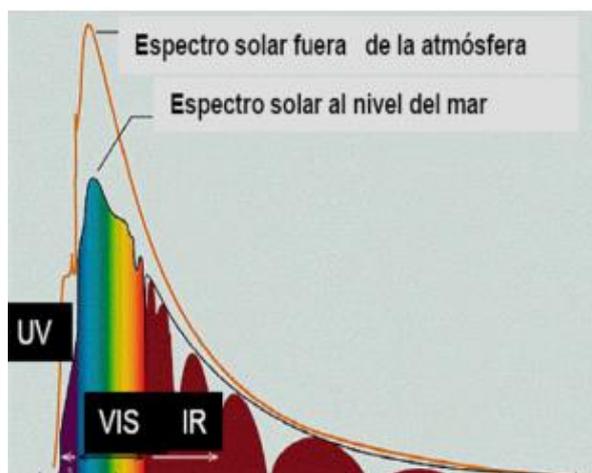
Fuente: El autor

**Tabla 2** Radiaciones infrarrojas con la longitud de onda

CLASE DE RADIACIÓN	LONGITUD DE ONDA
Infrarrojo cercano	700 nm – 1,4 μm
Infrarrojo de onda corta	1 – 3 μm
Infrarrojo medio	3 – 5 μm
Infrarrojo de onda larga	5 – 14 μm
Infrarrojo térmico	8 – 15 μm
Infrarrojo de onda muy larga	12 – 30 μm
Infrarrojo lejano	15 μm – 1 mm

Fuente: El autor

En la alta atmosfera las radiaciones solares cortas se atenúan, por lo que se ha demostrado mediante mediciones que los rayos ultravioleta B, etc., no llegan completamente al planeta tierra, sino que se atenúan [6] [14]



**Figura 12.** Espectro solar fuera de la atmosfera y a nivel del mar

Fuente: Universidad de Barcelona departamento de astronomía y meteorología

En la Tabla 3 se detalla la radiación solar en las ciudades más importantes del Ecuador según pvwatts. Los datos proporcionados reflejan una inclinación global de la radiación, se tiene los valores de la radiación diaria y radiación promedio en un año calendario, el índice de claridad es útil para encontrar los valores de los componentes de radiación directa y radiación difusa. La palabra insolación que se está empleando es equivalente al termino radiación solar directa.

Cuando se diseña un sistema fotovoltaico es recomendable realizar mediciones 1 año antes, para tener un diseño más exacto.[7]

**Tabla 3.** Insolación promedio de los últimos 10 años en el Ecuador en [kWh  $m^{-2}día^{-1}$ ].

Sitio: Latitud(Sur) / Longitud (Oeste)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cotopaxi:-1/79	5.48	5.23	4.63	4.30	4.14	4.42	4.62	5.40	5.72	5.51	5.68	6.05
Cuenca-Loja:3/79	5.50	5.02	4.65	4.18	3.82	3.39	3.53	3.92	4.53	5.12	5.79	5.71
Esmeraldas:0/80	3.99	4.27	4.42	4.27	3.63	3.25	3.39	3.70	3.95	3.95	4.02	3.84
Guayaquil:-3/80	4.79	4.43	4.79	4.46	3.87	3.53	3.74	4.50	5.24	5.13	5.73	5.52
Ibarra-Tulcán:0/79	6.19	5.28	5.21	4.84	4.45	4.18	4.67	5.31	5.97	6.38	6.10	6.50
Galápagos:-1/91	6.60	6.63	6.40	6.49	6.03	5.56	4.92	5.19	5.28	5.49	5.46	6.01
Manabí:-2/81	4.22	4.55	4.79	4.38	3.47	3.13	3.00	3.44	3.91	4.11	4.36	4.25
Napo:-2/77	4.23	3.62	3.62	3.39	3.34	3.13	3.51	3.59	3.87	4.34	4.38	4.14
Quevedo:-1/79	4.15	4.44	4.63	4.50	4.21	3.68	3.68	3.92	4.01	3.86	4.01	4.09
Quito:-1/79	5.78	5.30	4.90	4.52	4.32	4.21	4.64	5.12	5.44	5.44	5.90	5.92
Riobamba: -2/79	6.06	5.35	5.21	4.76	4.40	4.16	4.43	4.96	5.56	6.00	6.33	6.25
Santa Elena:-3/81	4.29	4.18	4.69	4.15	3.86	3.40	3.27	3.77	4.66	4.48	5.16	5.19

Fuente: pvwatts

**Tabla 4.** Índice de claridad promedio 10 años en Ecuador.

Sitio: Latitud(Sur) / Longitud (Oeste)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cotopaxi:-1/79	0.57	0.58	0.49	0.48	0.49	0.48	0.40	0.50	0.59	0.56	0.58	0.58
Cuenca-Loja:3/79	0.56	0.51	0.43	0.40	0.39	0.39	0.36	0.38	0.42	0.51	0.52	0.50
Esmeraldas:0/80	0.37	0.42	0.41	0.42	0.36	0.31	0.40	0.39	0.39	0.38	0.40	0.37
Guayaquil:-3/80	0.47	0.42	0.46	0.45	0.38	0.34	0.35	0.36	0.48	0.50	0.52	0.53
Ibarra-Tulcán:0/79	0.59	0.51	0.49	0.42	0.40	0.42	0.41	0.50	0.54	0.60	0.63	0.64
Galápagos:-1/91	0.62	0.63	0.65	0.64	0.63	0.60	0.47	0.53	0.51	0.53	0.54	0.60
Manabí:-2/81	0.41	0.43	0.46	0.42	0.39	0.32	0.30	0.36	0.35	0.41	0.44	0.43
Napo:-2/77	0.44	0.37	0.35	0.32	0.31	0.30	0.33	0.34	0.37	0.41	0.42	0.40
Quevedo:-1/79	0.41	0.43	0.44	0.44	0.44	0.40	0.39	0.40	0.39	0.37	0.40	0.41
Quito:-1/79	0.52	0.50	0.47	0.43	0.42	0.43	0.40	0.50	0.51	0.54	0.53	0.52
Riobamba:-2/79	0.60	0.49	0.50	0.42	0.41	0.39	0.40	0.47	0.51	0.59	0.61	0.59
Santa Elena:-3/81	0.38	0.40	0.43	0.39	0.35	0.31	0.30	0.31	0.44	0.46	0.50	0.49

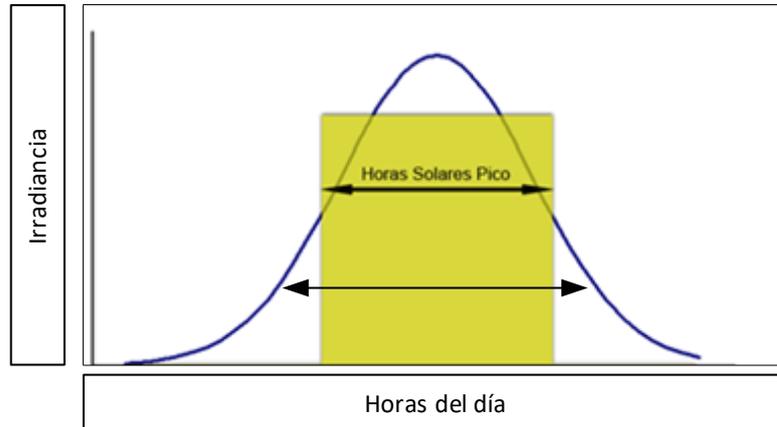
Fuente: pvwatts

### Irradiación solar:

La irradiación solar se mide en  $kWh/m^2$  [14], este dato es importante para el cálculo de la Hora Solar Pico (HSP), en cada lugar del planeta tierra se tiene una irradiación solar diferente por lo que depende de la ubicación, la irradiación solar para un sistema fotovoltaico también depende de otros factores como las sombras ocasionadas por árboles.[8]

## 2.7 Hora Solar Pico (HSP)

Este cálculo es indispensable para conocer cuantas horas del día la irradiación proveniente del sol va a incidir sobre la superficie terrestre para realizar una comparación una HSP equivale a  $3,6 \text{ MJ/m}^2$ . [9] [10]



**Figura 13.** Hora solar pico

Elaborado por: Nelson Simbaña

Para el caso de estudio se utilizará los datos tomados de la radiación solar directa de cada uno de los meses del año, teniendo como base el mes con menor índice de irradiación solar. Para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$H_{sp} = \frac{\text{irradiacion solar directa}}{1000 \text{ W/m}^2}$$

La insolación solar la suma de irradiancia a lo largo del tiempo. Esta unidad esta expresada en  $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{día}$ . [11]

## 2.8 Panel Fotovoltaico

Existen calidades distintas de paneles solares, se diferencian en la eficiencia y el costo. El uso del uno o del otro depende de la necesidad energética requerida y también se debe tener una proforma para conocer el precio del panel requerido. Los paneles solares de menor costo están compuestos por silicio amorfo, pero tiene menor eficiencia energética. Se necesita un correcto dimensionamiento de los paneles, si su dimensionamiento es menor no va a poder suministrar la energía suficiente, y si se realiza un sobredimensionamiento el sistema tendrá un costo adicional. [11] [12]

## 2.9 Expresión matemática del panel fotovoltaico

$$P_{max}(t) = \frac{G_a(t)}{G_{a,o}} (P_{max,o} + \mu_{p,max}(T_M(t) - T_{M,o})) \quad (7)$$

Donde:

$P_{max}$  = Máxima potencia suministrada por el panel fotovoltaico [w].

$G_a$  = Irradiación solar [ $w/m^2$ ].

$G_{a,o}$  = Irradiación en condiciones estándar [ $w/m^2$ ].

$P_{max,o}$  = Máxima potencia generada en condiciones estándar.

$T_M$  = Temperatura del módulo fotovoltaico en operación [ $C^\circ$ ].

$T_{M,o}$  = Temperatura del módulo en condiciones estándar [ $C^\circ$ ].

$\mu_{p,max}$  = coeficiente de temperatura de máxima potencia [%/ $C^\circ$ ].

Para encontrar la temperatura del módulo fotovoltaico depende de la temperatura ambiente  $T_a$  y de la radiación solar horaria  $G_a(t)$ , y se lo expresa con la ecuación 8 [17].

$$T_M(t) = T_a(t) + G_a(t) * \left( \frac{NOCT - 20}{800} \right) \quad (8)$$

Donde:

NOCT= temperatura de operación normal del panel fotovoltaico [ $C^\circ$ ], y de sus siglas en ingles “Nominal operating cell temperature”. A continuación, se detallará las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico policristalino que va a ser utilizada en el diseño.

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico

Panel solar	Panel monocristalino: 300-350w/24v
Potencia máxima ( $P_{max}$ )	315 w
Tensión en voltios de valores nominales ( $V_n$ )	24 v
Tensión a nivel de potencial máximo ( $V_{mp}$ )	33.3 v
Corrientes a niveles máximos de potencia ( $I_{mp}$ )	9.46 A
Voltajes cuando está en conexión abierta ( $V_{oc}$ )	40.5 v
Corriente en el instante de un corto circuito ( $I_{sc}$ )	10 A

Elaborado por: Nelson Simbaña

## **2.10 Generación de celdas solares**

A partir de 1839 cuando el físico Edmond Becquerel descubridor del efecto fotovoltaico realizaba experimentos con materiales como electrodos y soluciones químicas se percató que cuando esta solución recibía la energía proveniente del sol, esta producía más energía eléctrica, a partir de ello se fueron realizando más pruebas con varios materiales, fueron mejorando la calidad de las celdas fotovoltaicas lo que se dividen en 3 generaciones y se las detalla a continuación.

- Primera generación:

Las celdas solares de primera generación, también conocidas como celdas de oblea, están fabricadas por un proceso de difusión del silicio, en los cuales se colocan contactos eléctricos en ambas caras para que pueda ser posible la producción del campo eléctrico, la energía eléctrica es recolectada por un electrodo que recubre la cara del disco del silicio que se encuentra expuesta al sol. Estas células tienen mayor campo de trabajo, son de mayor calidad y son fáciles de unir, pero no se permite realizar avances significativos en sus estudios y en la disminución en los precios de fabricación del producto. Los dispositivos que se encuentran creados a base de células de silicio [14]

- Segunda generación:

Esta generación de celdas solares fue desarrollada aproximadamente a lo largo de los años 70 para satisfacer las necesidades de suministro eléctrico y los precios de mantenimiento de producción de células solares. Se utilizan formas diferentes para su elaboración, por ejemplo, con la utilización de galvanoplastia se tiene una disminución en su temperatura., existe dentro de esta generación de celdas que fueron fabricadas por diferentes tipos de materiales, entre ellos son los materiales orgánicos, pero se tuvo un gran problema económico, los precios de los materiales se elevaron y dificultaba la adquisición por personas que deseaban integrar este tipo de tecnología, esas celdas fueron utilizadas en su gran mayoría en proyectos espaciales . [14]

- Tercera generación:

Las celdas solares de tercera generación permiten que su eficiencia de conversión eléctrica sea mejor que las mencionadas, gracias a esta generación se logró reducir los costos para la elaboración de estas celdas solares, y aumentando su eficiencia hasta el 60 % [14]

## 2.11 Especificaciones técnicas y tecnológicas de los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos se pueden conectar en serie o paralelo según sea el caso o la demanda del cliente, el voltaje de salida en circuito abierto de cada una de las celdas es de 0.6 v, se considera la temperatura del ambiente que por lo general para el cálculo es de 25 °C. [14]

### Tecnologías en paneles fotovoltaicos:

Antes de realizar la adquisición de un panel fotovoltaico se debe considerar ciertas especificaciones técnicas y económicas, dos aspectos de suma relevancia son la viabilidad comercial, un alto rendimiento y que posean estabilidad durante su operación normal. Un panel debe tener facilidad de fabricación, los materiales para la construcción deben estar siempre disponibles, deben tener un mínimo impacto ambiental. En la actualidad los paneles que dominan el mercado son los de silicio cristalino, monocristalino y policristalino. Las diferencias más relevantes son la relación que existe entre la salida de potencia eléctrica del módulo fotovoltaico y la irradiación solar que recibe el modulo fotovoltaico. En la Tabla 2.6 se especifica el rendimiento. [14]

**Tabla 6.** Tecnologías de paneles fotovoltaicos

Tipo	Rango de eficiencia del panel	Factor de degradación	Vida útil máxima
Silicio policristalino	13-15 %	0.36 %	30 años
Silicio monocristalino	14-20 %	0.7 %	41 años
Película delgada (silicio amorfo)	6-9 %	1.1 %	15 años
Película delgada (CdTE)	9-11 %	0,55 %	21 años
Película delgada (CIS/CIGS)	10-12 %	1.2 %	12 años

Elaborado por: Nelson Simbaña

### **Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos para un sistema conectado a la red:**

Se utilizan otras fórmulas para dimensionar un sistema conectado a la red es (9) mucho más simple ya que depende de las características propias del panel, se utiliza la expresión 9.

$$C_{psr} = \frac{E_{nec}}{V_{mp} * I_{mp} * HSP}$$

Donde:

$E_{nec}$  = Energía necesitada [Wh/día].

$V_{mp}$  = Voltaje en el punto máximo de potencia [V].

$I_{mp}$  = Corriente en el punto máximo de potencia [A].

HSP = Hora solar pico del mes más desfavorable.

$C_{psr}$  = Cantidad de paneles del sistema fotovoltaico.

### **2.12 Sistema de almacenamiento**

La profundidad de descarga de la batería es un detalle técnico muy importante al momento de realizar un diseño fotovoltaico, existe 2 tipos de descargas: superficiales y profundas. Cuando se habla de descargas superficiales se refiere que la batería va a sufrir una descarga aproximada del 20 % de su capacidad nominal, una descarga profunda oscila entre el 60-80% de la capacidad de carga de la batería. Cuando se va a diseñar un sistema OFF-GRID por lo general se utilizan baterías estacionarias ya que estas deben soportar descargas durante un largo periodo de tiempo, esto perjudica a la batería mediante la siguiente relación: mientras mayor sea la profundidad de descarga, menor va a ser el tiempo de vida útil de la batería, esta variable se denomina DOP (Death of Discharge). Para darle un mayor tiempo de vida útil al equipo es recomendable tener ciclos de descarga lentos, para un cierto tiempo de descarga se tendrá una tensión de descarga. Es recomendable mantener ciclos de descarga mayores al 80% de su capacidad nominal

#### **Tipos de baterías para sistemas fotovoltaicos:**

Las baterías conforman el sistema de almacenamiento el cual suministra de energía eléctrica cuando la demanda así lo necesite, existen varios prospectos de baterías, pero los que más se utilizan para este tipo de instalaciones son de plomo-ácido y de Níquel-cadmio

## Comparación de tecnologías de baterías:

**Tabla 7.** Comparación de tecnologías de baterías

	Plomo acido	Níquel-Cadmio
Densidad de energía [Wh/kg]	30	40
Ciclo de vida	1200 @ 50 % DOD	1500 @ 50 % DOD
Ventana de descarga recomendada (DOD)	50 %	50 %
Auto descarga ( $\sigma$ ):	3	3
Vida útil	3 años	6 años
Eficiencia ( $\eta_b$ )	100% @20 h descarga	100 % @ 20 h descarga

Elaborado por: Nelson Simbaña

Mediante la expresión 10 se determina la cantidad de baterías necesarias para almacenar la potencia requerida por el sistema fotovoltaico. [15]

Donde:

$E_{nec}$  = Energía necesaria [Wh/día].

$d_a$  = Días de autonomía.

$V_{sis}$  = Voltaje del sistema [V].

$$C_{abb} = \frac{(E_{nec} * d_a) / V_{sis}}{P_{des}} \quad (10)$$

$P_{des}$  = Profundidad de descarga admisible.

$C_{abb}$  = Capacidad de acumulación del banco de baterías [Ah].

Para saber cuántas baterías van a estar en serie y paralelo se utiliza la expresión 11:

$$N_{bpa} = \frac{C_{abb}}{C_{nb}} \quad (11)$$

Donde:

$C_{abb}$  = Cantidad máximo de almacenamiento en el las baterías [Ah].

$C_{nb}$  = Valores nominal para un buen trabajo de cada batería [Ah].

$N_{bpa}$  = Cantidad de baterías presentes en paralelo.

Para saber el total de baterías a implementar en el sistema fotovoltaico se emplea la expresión 12: [15]

$$N_{bse} = \frac{V_{sis}}{V_{nb}} \quad (12)$$

$V_{sis}$ = Voltaje de diseño para cada Sistema [V].

$V_{nb}$ = Valores nominal para un buen trabajo de cada batería.

$N_{bse}$ = Cantidad de baterías presentes en paralelo.

### 2.13 Regulador de carga

Este elemento es muy importante para proteger la batería ante sobrecargas o continuas descargas lo que reduce la vida de la batería, el regulador de carga controla constantemente el voltaje que se encuentra en el banco de baterías, cuando las baterías están cargadas completamente el regulador corta el proceso de carga abriendo el circuito de las baterías con los paneles, cuando el sistema consume energía de las baterías el regulador nuevamente conecta el sistema, por lo que las baterías se comienzan a cargar nuevamente.

Para que el sistema cuente con mayor seguridad el inversor debe estar dimensionado lo más cercano posible a los valores de tensión nominal del banco de baterías. [16]



**Figura 14** Regulador de carga

Fuente: Catálogo Hispavila

Para el cálculo del regulador de carga se debe aplicar la expresión 13:

$$I_{mr} = 1,10 * I_{cf} \quad (13)$$

Donde:

$I_{cf}$ = Intensidad de corriente de campo fotovoltaico [A].

$I_{mr}$ = Intensidad de corriente de campo fotovoltaico [A].

## **2.14 Inversor con conexión a la red**

- El inversor transforma c. continua en c. alterna, los paneles fotovoltaicos solamente generan corriente continua por lo que se necesita realizar esta conversión, el inversor es un dispositivo electrónico que interrumpe el paso de la corriente y cambia su polaridad, si es un sistema OFF-GRID o un sistema ON-GRID se puede utilizar como inversor de conmutación natural.
- prácticamente senoidales y tiene poco contenido de armónicos, a continuación, se presenta las características más importantes:
- Su funcionamiento es totalmente sincrónico con la red de distribución eléctrica.
- Cuando existe la insolación solar suficiente posee un sistema de arranque y sincronización automático.
- Al atardecer cuando la presencia de luz es mínima, el inversor se apaga automáticamente.
- Desconexión automática por presencia de cortocircuitos o fallos de alimentación.
- Posee aislamientos eléctricos por medio del transformador.
- No sufre daños por exposición de voltajes de entrada durante pocos instantes de tiempo.
- Posee protección contra posibles sobretensiones en el lado de alterna y directa.
- Bajo consumo energético.



**Figura 15** Inversor de corriente

Fuente: Catálogo Hispavila

En este caso todas las cargas son en corriente alterna por lo que es necesario el uso del inversor, todas las cargas poseen un factor de simultaneidad especificado en el estudio de carga, para ello se debe encontrar la potencia máxima de demanda simultánea, para ello se utiliza la expresión 14: [15]

$$P_{dsm} = N_{ele} * P_{ice} * F_s \quad (14)$$

Donde:

$N_{ele}$  = Número de aparatos eléctrico.

$P_{ice}$  = Potencia de cada aparato eléctrico.

$F_s$  = Factor de simultaneidad.

$P_{dsm}$  = Potencia de demanda simultánea.

**Potencia mínima del inversor:**

Para encontrar la potencia mínima del inversor es necesario sumar todas las potencias que van estar en el sistema fotovoltaico y multiplicarlo por el 20%, para ello se realiza la expresión 15: [15]

$$P_{inv} = 1.2 * \sum P_{dsm} \quad (15)$$

Donde:

$P_{dsm}$  = Potencia de demanda simultánea.

$P_{inv}$  = Potencia mínima del inversor.

### 2.15 Corriente en unidad de tiempo

Un amperio hora hace referencia a la cantidad de corriente que se utiliza al término de una hora, la representación universal es Ah, pero no forma parte del sistema internacional. Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico es importante conocer el Ah, se utiliza en el dimensionamiento del banco de baterías, la corriente por hora se lo puede determinar mediante la expresión 16: [15]

$$I_{pd} = HSP_{mes\ desfavorable} * Imp \quad (16)$$

### 2.16 Rendimiento global del sistema

Se determina los componentes que forman parte de la instalación fotovoltaica y se usa la expresión 17: [15]

$$R = (1 - K_B - K_C - K_R - K_V) \left(1 - K_A * \frac{N}{P_d}\right) \quad (17)$$

Donde:

$K_B$ ; Pérdidas que se tienen por el rendimiento referente al acumulador.

$K_C$ ; Pérdidas calculadas del inversor debido a su rendimiento.

$K_R$ ; Pérdidas calculadas dentro del controlador para carga.

$K_V$  = Constante referenciadas a las pérdidas que son aleatorias.

$K_A$  = Valores perdidos de energía eléctrica como efecto al auto deterioro de las baterías.

$N$  = Autonomía, en días.

$P_d$  = profundidad máxima de descarga admisible

En las siguientes tablas se va a detallar los valores de los coeficientes según el estado de sus elementos.

**Tabla 8.** Valores que puede tomar  $K_B$

Acumuladores nuevos, sin descargas intentas	0.05
Acumuladores viejos, descargas intentas, presencia de bajas temperaturas	0.1

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

**Tabla 9.** Valores que puede tomar  $K_C$ 

Ausencia de inversor	0
Inversor con rendimiento del 95 %	0.05
Inversor con rendimiento del 90 %	0.1
Inversor con rendimiento del 85 %	0.15
Inversor con rendimiento < 85 %	0.2

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

**Tabla 10.** Valores que puede tomar  $K_R$ 

Control de carga eficiente	0.1
Controlador de cara ineficiente	0.15

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

**Tabla 11.** Valores que puede tomar  $K_V$ 

Sin pérdidas en el cableado y otros equipos	0.15
Estudio detallado de pérdidas	0.05

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

**Tabla 12.** Valores que puede tomar  $K_A$ 

Baterías de baja auto descarga	0,002
Batería estacionaria de energía solar	0,005
Batería de alta auto descarga	0,012

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

**Tabla 13.** Valores que puede tomar N

Aulas con moderada concurrencia	3
Local de uso habitual	5
Instalaciones de uso prioritario	15

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

**Tabla 14.** Valores que puede tomar  $P_d$ 

Batería descargada hasta 90 %	0,9
Batería descargada hasta 80 %	0,8
Batería descargada hasta 70 %	0,7
Batería descargada hasta 60 %	0,6
Batería descargada hasta 50 %	0,5
Batería descargada hasta 40 %	0,4
Batería descargada hasta 30 %	0,3

Fuente: Modelos y análisis de sistemas fotovoltaicos

### **2.17 Sistemas conectados a la red con almacenamiento (On Grid)**

Los sistemas conectados a la red están compuestos por paneles fotovoltaicos, para poder tener corriente alterna de igual manera que los otros sistemas se utilizan inversores de corrientes, para el diseño se debe tomar en cuenta varios aspectos técnicos, primero se realiza un estudio de carga para determinar la potencia total del sistema, en base a esos resultados se puede comenzar el diseño, se determinara la cantidad de paneles a utilizar según la potencia de los paneles que se encuentren disponibles en el mercado.

Con el avance de la tecnología se tiene elementos mucho más sofisticados, estos nos ayudan a poder monitorear el sistema constantemente, para este tipo de sistemas se necesita que se encuentren implementados 2 medidores eléctricos o contadores eléctricos, el primero va a estar monitoreando cuanta energía genera el sistema fotovoltaico, el segundo ayuda a cuantificar cuanta potencia es inyectada a la red eléctrica.

#### **- Sistemas aislados de la red (Off Grid):**

Un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica convencional está compuesto por los componentes descritos anteriormente como el sistema de almacenamiento, inversor, regulador de carga y paneles fotovoltaicos, a continuación,

#### **- Sistemas Híbridos:**

Los sistemas híbridos incorporan 2 o más tecnologías diferentes como puedes ser combinaciones de sistemas fotovoltaicos con sistemas eólicos, todo depende de las condiciones climatológicas del lugar donde se vaya a implementar energías renovables.

- **Comparación de sistemas fotovoltaicos:**

**Tabla 15.** Ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos

Tipo de Sistema Fotovoltaico	Ventajas	Desventajas
Sistema On-Grid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El costo inicial es mucho más bajo a comparación de un sistema Off-Grid.</li> <li>- Permite dividir al sistema en diferentes etapas.</li> <li>- No se tiene la necesidad de acoplar un sistema de almacenamiento (baterías)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se tiene una baja confiabilidad, debido a que la energía eléctrica convencional no es 100% confiable.</li> <li>- Depende de condiciones atmosféricas favorables para el sistema fotovoltaico.</li> </ul>
Sistema Off-Grid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La mayor virtud de este tipo de sistemas fotovoltaicos es que se podría tener acceso a la energía eléctrica en zonas donde la red eléctrica convencional es nula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un sistema muy costoso por la incorporación de un sistema de almacenamiento (baterías).</li> <li>- Las baterías liberan hidrogeno al ambiente, por lo tanto, donde se vaya a colocar el sistema de almacenamiento debería ser un lugar con ventilación.</li> </ul>

## 2.18 Elementos de protección

Los elementos de protección son aparatos externos que protegen al sistema ante sobre corrientes o altas tensiones producto de descargas atmosféricas, estos aparatos pueden ser fusibles o relés.



**Figura 16.** Protecciones eléctricas

Fuente: Sensovant [16]

## 2.19 Conductores

Para la instalación eléctrica se debe ocupar conductores adecuados para este tipo de instalaciones, deben tener un aislamiento adecuado. Para saber la sección del cable que se va a usar se debe conocer la corriente la cual va a atravesar el cable y el tipo de canales donde se va a pasar el cable. [16]

- Entre los paneles fotovoltaicos y el regulador de carga debe existir una caída de tensión mínima del 3%.
- Entre el regulador de carga y el banco de baterías debe existir una caída de tensión inferior al 1%.
- Entre el regulador de carga y la carga a ser alimentada debe existir una caída de tensión inferior al 5%.

Si los cables van a estar expuesto a la intemperie debe cumplir la norma IEC 60811.

Para el cálculo de los conductores se debe utilizar la expresión 18:

$$S_{tc} = \frac{2 * L * I * 0.018}{1,44}$$

Donde:

*L*: Longitud a la que se encuentra la instalación. [m]

*I*: Corriente de la instalación. [A]

*v*: Perdidas de voltaje que sean mínimo al 3%. [V]

$S_{tc}$ : Sección teórica del conductor. [mm<sup>2</sup>]

$$v = \frac{V_{sis} * 3}{100} = 1,44 \quad (1)$$

Donde:

$V_{sis}$ : Voltajes presentes en sistema [V]

$v$ : Perdidas en el voltaje dentro de sistema admisibles. Para este caso en particular, se toma el 3% de permisibilidad [v]

## 2.20 Tipos de estructura de soporte

Para conocer el tipo de estructura que va a soportar los paneles fotovoltaicos se debe tener en cuenta las condiciones climatológicas del lugar donde se va a implementar el sistema. Se tiene soportes fijos y seguidores solares. [16]

- Sistema fijo: para este tipo de estructura se debe determinar la inclinación óptima, el mantenimiento de este tipo de estructuras es mínimo, por eso su costo es mucho menor, estos sistemas tienen mayor tiempo de duración, no se puede variar el ángulo de inclinación, se debe realizar un estudio de sombras para que no afecte la captación de la radiación solar.



**Figura 17.** Soporte fijo para panel solar

Fuente: Solarmat

- Seguidores solares: este tipo de soportes es aconsejable para cielos despejados tiene un alta efecto de radiación directa, se incrementa los costos iniciales del sistema, ya que se necesita un sistema de control para que se pueda modificar

- la inclinación de los paneles, se necesita motores, engranajes y más elementos mecánicos para realizar esta acción, la potencia se incrementa porque al momento de seguir la trayectoria del sol no va a decaer la potencia.



**Figura 18.** Instalación de un seguidor solar

Fuente: Solar mark [17]

### 2.21 Distancia mínima entre módulos

Para conocer la separación entre los paneles solares se va hacer uso de la expresión 18:

$$h = A * \sin(\beta) \quad (19)$$

Donde:

A= ancho del panel fotovoltaico [m].

$\beta$  = Es el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico.

h= altura proyectada sobre la horizontal de una fila

Para calcular la distancia entre paneles se va a utilizar la expresión 19:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \emptyset)} \quad (20)$$

Donde:

h= altura proyectada sobre la horizontal de una fila

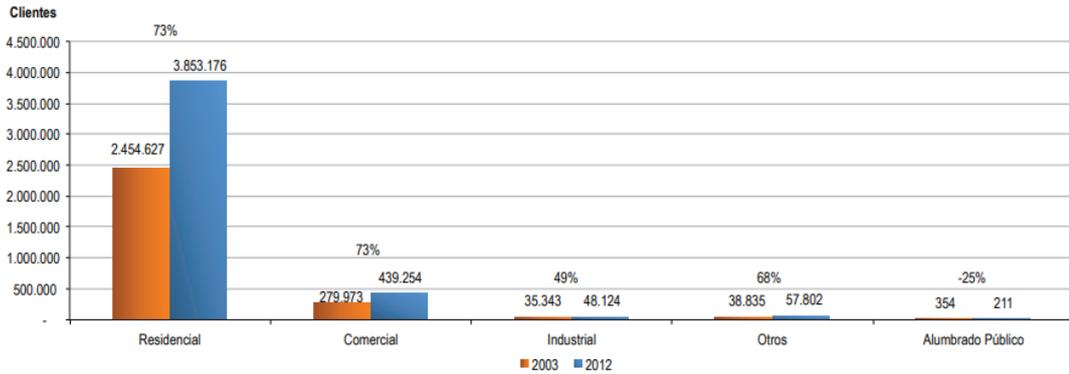
$\emptyset$ = latitud del lugar

Para encontrar la distancia mínima entre los módulos se va a utilizar la expresión 20:

$$D_{min} = d + A * \cos(\beta) \quad (21)$$

## 2.22 Demanda energética

La demanda eléctrica está definida por la potencia requerida en un horario de consumo, existen varios grupos de consumo como residencial, industrial, comercial y alumbrado público. Cada uno de estos grupos posee un número determinado de clientes.



**Figura 19.** Demanda eléctrica

Fuente: Plan maestro de electrificación 2013-2022.

## 2.23 Dimensionamiento del tiempo de reembolso

Para estimar el periodo de reembolso es necesario conocer el tiempo de vida de la instalación fotovoltaica que tiene un promedio de vida de 25 a 30 años, en Ecuador el costo de cada kWh es de \$0,10 utilizando la expresión 21 se puede estimar el costo total de la instalación y el tiempo de reembolso. [18]

$$C_{kwi} = \frac{C_{ti}}{P_{cf}} \quad (22)$$

Donde:

$C_{ti}$  = Precio de instalación [€]

$P_{cf}$  = Carga nominal de campo fotovoltaico [kW]

$C_{kwi}$  = Precio del kilowatt que se instaló [€/kW]

### **Energía mensual entregada por el sistema fotovoltaico:**

Mediante la expresión 22 se conoce la potencia generada mensualmente por parte del sistema fotovoltaico. [18]

$$E_{mes} = \left\lceil \frac{P_{max} * C_{psr} * 365 * 30 * HSP}{1000} \right\rceil / 360 \quad (23)$$

Donde:

$P_{max}$  = Carga máxima a entregar por parte del sistema fotovoltaico [W]

$HSP$  = Hora solar pico del mes más desfavorable

$C_{psr}$ = Paneles conectados para un sistema añadido a la red comercial

$E_{mes}$ = Consumo contabilizado mensualmente [kWh]

### **Costo por consumo:**

La expresión 23 hace referencia al costo mensual por la potencia consumida. [18] [19]

$$C_{pc} = E_{mes} * C_{kWh(Ecuador)} \quad (24)$$

Donde:

$E_{mes}$ = energía mensual [kWh]

$C_{kWh(Ecuador)}$ = costo de la energía eléctrica en ecuador [\$/kW]

$C_{pc}$ = Costo por consumo [\$/]

### **Tiempo de reembolso:**

Mediante la expresión 24 se conocerá el tiempo de reembolso de la instalación fotovoltaica, se divide para 12 ya que se utiliza la energía generada mensualmente. [18] [19]

$$Rem = \left[ \frac{C_{ti}}{C_{pc}} \right] / 12 \quad (25)$$

Donde:

$C_{ti}$  = Costo total de la instalación [\$/].

$C_{pc}$ = Costo por consumo [\$/]

Rem= tiempo de reembolso en años

## **2.24 Software computacional**

Para el modelamiento del sistema fotovoltaico se usará Homer pro (Híbrido Optimización Model for Multiple Energy Resources) [20] [21], es un software muy completo y útil sirve para diseñar proyectos con energías renovables, orientado a sistemas híbridos. Homer pro simula la operación del sistema por medio de cálculos de balance de energía[22], Homer encuentra la combinación de todos los componentes del sistema con el menor costo de inversión, optimiza los ciclos de vida útil del sistema. Cuando Homer pro termina la simulación despliega una lista de todas las posibles soluciones según el costo de ciclo de vida

### CAPÍTULO III

#### CASOS DE ESTUDIO

Se propone instalar un sistema híbrido con generación eólica y solar, pero los estudios arrojaron que el lugar donde se encuentra la fundación no tiene las condiciones técnicas suficientes para su implementación de un sistema eólico, a continuación, se detalla los resultados obtenidos.

#### 3.1 Datos de la velocidad del viento en la Fundación COTAH

Los datos obtenidos del “Anual Meteorológico” arrojan que Otavalo – Selva Alegre tiene un promedio de viento de 2.3 km/h, esto imposibilita la implementación de este tipo de energía en la fundación COTAH, en la Tabla 15 se tienen los valores promedios mensuales en la región.

**Tabla 16.** Valor promedio del viento en Otavalo

Mes	Velocidad Media [km/h]
Enero (1)	3.3
Febrero (2)	2.3
Marzo (3)	1.7
Abril (4)	1.3
Mayo (5)	0.8
Junio (6)	1.9
Julio (7)	2.6
Agosto (8)	2.8
Septiembre (9)	3.0
Octubre (10)	2.7
Noviembre (11)	3.3
Diciembre (12)	2.4

Elaborado por: Nelson Simbaña

#### 3.2 Factibilidad de un sistema eólico en la Fundación COTAH

Para que un generador pueda arrancar debe tener una velocidad de viento de por lo menos 18 km/h, a esta velocidad el aerogenerador es capaz de producir alrededor de 180 W de potencia eléctrica. En el lugar donde se encuentra ubicado la Fundación COTAH según indica los valores promedios en el Anual Meteorológicos son de 2.3 km/h, por lo que la instalación de este sistema no sería viable instalarlo. Los parámetros de diseño de este tipo de sistemas son iguales a los de un sistema fotovoltaico, a continuación, se realizará un estudio de irradiación solar para conocer la factibilidad de un sistema fotovoltaico.

### **3.3 Parámetros de diseño**

La fundación se encuentra dividida en dos partes, la parte superior se encuentra ubicada en la cima de la montaña y consta de 3 edificaciones, la parte inferior se encuentran las aulas donde los estudiantes reciben sus clases, se dividen en 4 edificaciones, los paneles fotovoltaicos se van a instalar en la parte inferior a un costado de las aulas, ya que se tiene un gran espacio de terreno y no existe sombras que perjudiquen la producción de energía eléctrica al sistema, en una de las oficinas del edificio donde se encuentran la zona administrativa se planea colocar el cuarto de control y monitoreo donde se van a encontrar las baterías, inversores, reguladores de carga ,etc., en la parte superior se asignará un salón exclusivo para colocar estos aparatos. Se tendrá 3 casos de estudios, los cuales serán detallados a continuación, el primer caso de estudio será plenamente detallado, para los siguientes casos de estudio se colocarán cuadros resumen detallados.

### **3.4 Caso 1 de diseño**

El primer caso de diseño es un sistema fotovoltaico Off-Grid con almacenamiento, para el diseño se tiene en cuenta todas las cargas de la fundación, el sistema es totalmente autónomo, a continuación, se detalla el análisis realizado para el diseño del caso 1.

### **3.5 Estudio de irradiación solar en la Fundación COTAH**

La irradiación solar se puede descomponer en 3 tipos de radiación:

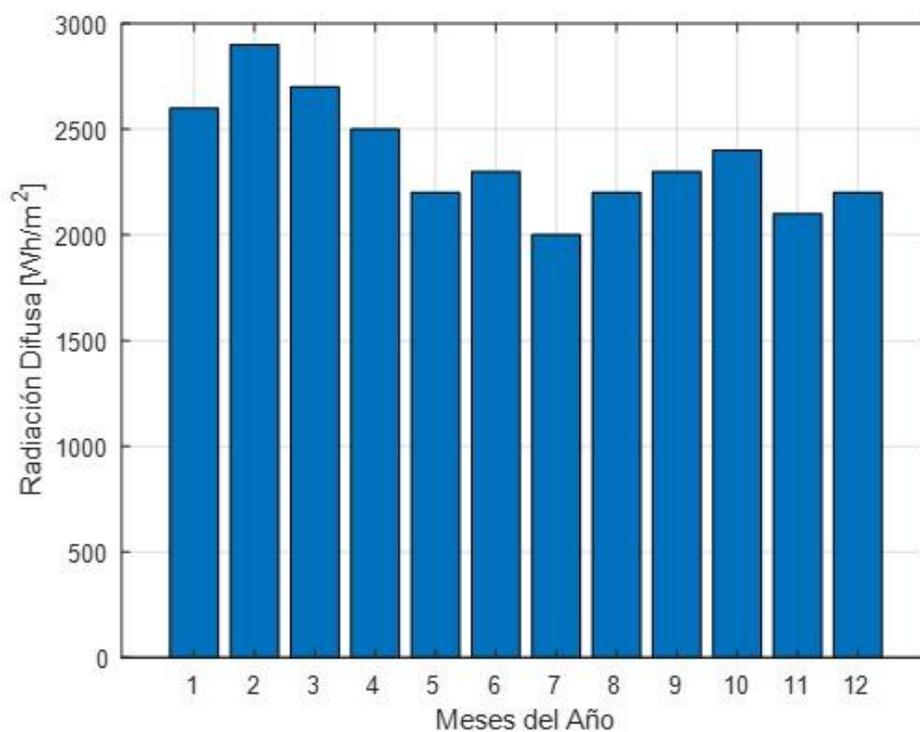
- Emisión que se recibe directamente de rayo solares.
- Irradiación deteriorada que se recibe a partir de las nubes.
- Irradiación reflejada desde y por superficie.

Los valores mostrados a continuación fueron tomados del Atlas Solar del Ecuador actualizada donde se ven reflejados las cantidades de emisión de rayos solares difusa, directa y global de cada mes del año, es necesario tener datos de por lo menos un año para que el cálculo sea más exacto.

**Tabla 17.** Valor promedio mensual de la radiación difusa.

RADIACIÓN DIFUSA	[Wh/m <sup>2</sup> ]
ENERO(1)	2600
FEBRERO(2)	2900
MARZO(3)	2700
ABRIL(4)	2500
MAYO(5)	2200
JUNIO(6)	2300
JULIO(7)	2000
AGOSTO(8)	2200
SEPTIEMBRE(9)	2300
OCTUBRE(10)	2400
NOVIEMBRE(11)	2100
DICIEMBRE(12)	2200

Elaborado por: Nelson Simbaña



**Figura 20.** Radiación Difusa

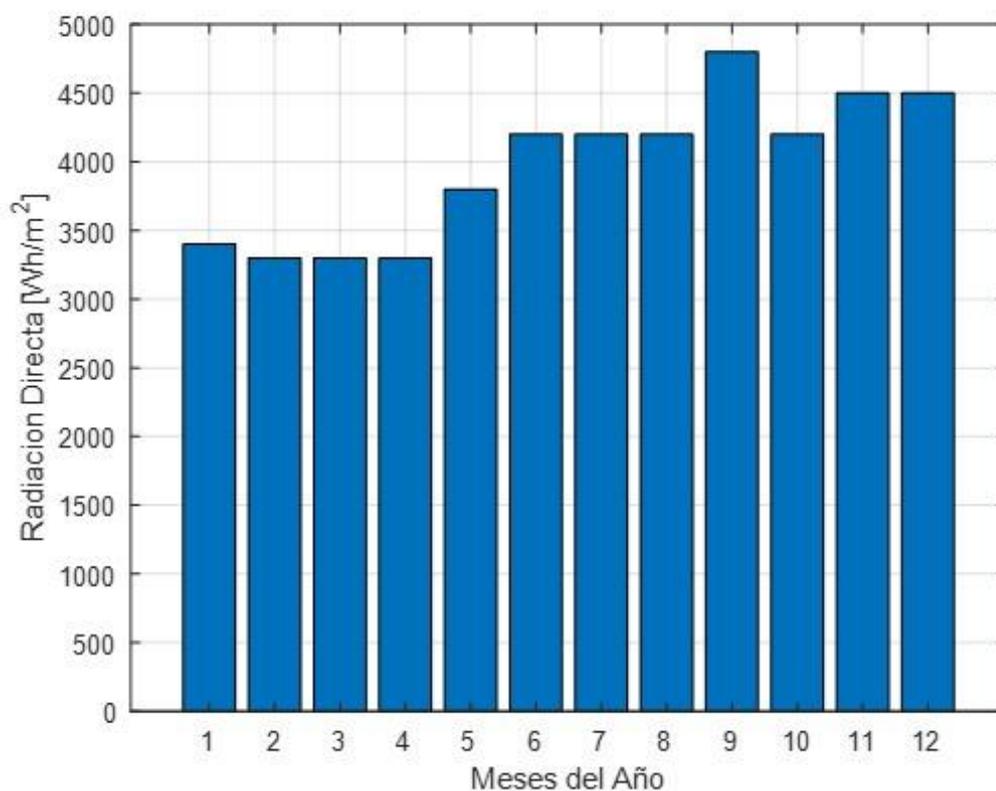
Fuente: El autor

Como se muestra en la figura, en Julio se presenta la radiación solar difusa más baja, en febrero se presenta el mayor índice de radiación solar difusa del año.

**Tabla 18.** Valor promedio mensual de la radiación directa.

RADIACIÓN DIRECTA	[Wh/m <sup>2</sup> ]
ENERO	3400
FEBRERO	3300
MARZO	3300
ABRIL	3300
MAYO	3800
JUNIO	4200
JULIO	4200
AGOSTO	4200
SEPTIEMBRE	4800
OCTUBRE	4200
NOVIEMBRE	4500
DICIEMBRE	4500

Elaborado por: Nelson Simbaña



**Figura 21.** Radiacion directa

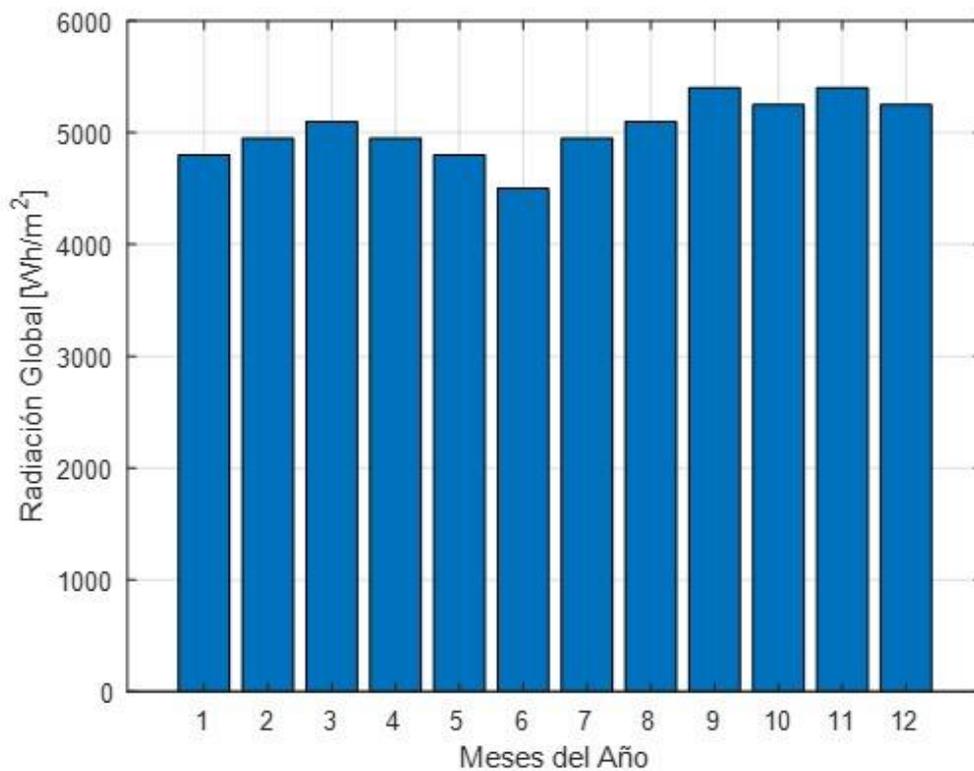
Elaborado por: Nelson Simbaña

Para lo referten a los primeros meses exceptuando enero y viendo hasta inicios de mayo, se presenta la radiación solar directa más baja, como se presentó en el estudio climatológico el mes de septiembre tiene los mayores índices de incidencia solar en la ciudad de Otavalo, teniendo un promedio de radiación solar de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 19.** Valor promedio mensual de la radiación global.

RADIACIÓN GLOBAL	[Wh/m <sup>2</sup> ]
ENERO	4800
FEBRERO	4950
MARZO	5100
ABRIL	4950
MAYO	4800
JUNIO	4500
JULIO	4950
AGOSTO	5100
SEPTIEMBRE	5400
OCTUBRE	5250
NOVIEMBRE	5400
DICIEMBRE	5250

Elaborado por: Nelson Simbaña



**Figura 22.** Radiación Global

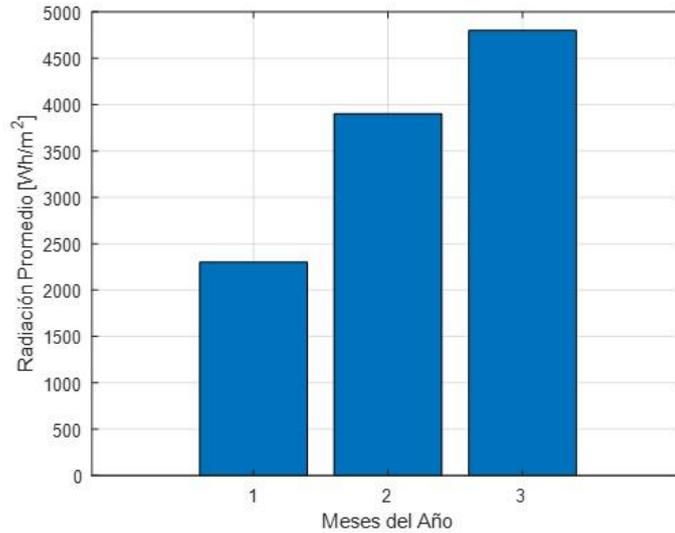
Elaborado por: Nelson Simbaña

Para meses como septiembre, así también en noviembre se presenta un mayor índice de radiación solar global, mientras que en junio los índices de radiación son los más bajos del año.

**Tabla 20.** Valor promedio anual de radiación difusa, directa y global.

RADIACION PROMEDIO	[Wh/m <sup>2</sup> ]
DIFUSA	2300
DIRECTA	3900
GLOBAL	4800

Elaborado por: Nelson Simbaña



**Figura 23.** Radiación Promedio

Elaborado por: Nelson Simbaña

### 3.6 Calculo de la HSP (Hora Solar Pico)

Para conocer la HSP debemos tener los valores expresados en mega julios, se utiliza el siguiente valor para la conversión: 1kWH= 3.6 MJ. En la siguiente tabla se presenta los coeficientes de corrección  $k$

**Tabla 21.** Insolación Promedio en Ibarra en MJ

Latitud/ longitud	Enero	Febrero	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ibarra- Tulcán:0/79	13.42	14.436	15.01	14.22	13.5	12.81	13.86	14.43	14.2	13.64	13.71	13.42

Elaborado por: Nelson Simbaña

En la Tabla 22 se encuentran los coeficientes de corrección para cada ángulo de inclinación y cada mes del año.

**Tabla 22.** Coeficientes de corrección

Inclinación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0,97	0,98	1	1,01	1,02	1,03	1,02	1,01	1	0,98	0,97	0,96
10	0,93	0,96	0,99	1,02	1,04	1,04	1,03	1,02	0,99	0,96	0,93	0,92
15	0,88	0,92	0,97	1,02	1,05	1,06	1,04	1,01	0,97	0,93	0,89	0,87
20	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06	1,04	1,01	0,95	0,89	0,84	0,81
25	0,77	0,84	0,92	1	1,05	1,06	1,04	0,99	0,92	0,85	0,78	0,75
30	0,71	0,79	0,89	0,98	1,04	1,05	1,03	0,97	0,89	0,8	0,72	0,69
35	0,65	0,73	0,84	0,95	1,02	1,04	1,01	0,95	0,85	0,74	0,65	0,62
40	0,57	0,67	0,8	0,92	1	1,02	0,98	0,91	0,81	0,67	0,58	0,54
45	0,5	0,61	0,74	0,88	0,97	0,99	0,95	0,87	0,76	0,62	0,51	0,46
50	0,42	0,54	0,69	0,83	0,93	0,96	0,92	0,83	0,7	0,56	0,43	0,38
55	0,34	0,46	0,63	0,78	0,89	0,92	0,88	0,78	0,64	0,49	0,35	0,3
60	0,26	0,39	0,56	0,73	0,84	0,87	0,83	0,73	0,58	0,41	0,27	0,21
65	0,17	0,31	0,49	0,66	0,79	0,82	0,78	0,67	0,51	0,34	0,19	0,13
70	0,11	0,23	0,42	0,6	0,73	0,77	0,72	0,61	0,45	0,26	0,13	0,12

Elaborado por: Nelson Simbaña

$$HSP = In_{pro} * K_{atm} * k * 0.2778 \quad (25)$$

$$HSP = 12.81 * 0.93 * 1.05 * 0.2778$$

$$HSP = 3.47 h$$

Donde:

$In_{pro}$ : Insolación promedio [ $MJ/m^2$ ]

$K_{atm}$ : Factor de corrección atmosférico

k: coeficiente de corrección

### 3.7 Inclinación del panel fotovoltaico

El factor de corrección atmosférico se lo obtuvo mediante tablas este valor puede variar entre 0.95 y 1.05 dependiendo la zona donde se vaya a implementar el sistema fotovoltaico. El sistema fotovoltaico que se va a implementar en la fundación COTAH se encuentra ubicado en una zona libre de contaminación, para el diseño fotovoltaico se considera la inclinación óptima del sistema. Para conocer la posición adecuada para cada panel fotovoltaico se debe conocer la ubicación del sitio (latitud), mediante aplicaciones tecnológicas; así que la latitud de la fundación COTAH es  $0.2486^\circ$ , con este dato se puede aplicar la siguiente expresión:

$$\beta = (\text{latitud}) + 10^\circ \quad (26)$$

$\beta$  es la inclinación óptima de un panel fotovoltaico con respecto a la latitud, se tiene una inclinación de  $10^\circ$ .

### 3.8 Distancia mínima entre los paneles fotovoltaicos

Se utiliza las expresiones descritas en el índice 2.26

$$h = A * \sin(\beta) \quad (19)$$

$$h = 1,640 * \sin(10)$$

$$h = 0,28 \text{ m}$$

Para calcular la distancia entre paneles se va a utilizar la expresión 19:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \emptyset)} \quad (20)$$

$$d = \frac{0,28}{\tan(61^\circ - 0,2462)}$$

$$d = 0,16 \text{ m}$$

Para conocer la distancia mínima entre paneles se utiliza la expresión 20:

$$D_{min} = d + A * \cos(\beta) \quad (21)$$

$$D_{min} = 0,16 + 1,640 * \cos(10)$$

$$D_{min} = 1.77 \text{ m}$$

### 3.9 Estudio de carga de la fundación COTAH

Para el estudio de carga de la fundación se toma en cuenta todos los aparatos que se utilizan y el tiempo de uso de cada una, la fundación se divide en dos zonas la parte superior de la montaña donde se encuentran 3 edificaciones, la parte inferior donde se encuentran las aulas de clase y las zonas administrativas, por lo que se realiza 2 estudios de carga, la parte superior se refiere a todos los aparatos conectados en la parte superior de la fundación, parte inferior la parte inferior de la fundación.

### 3.10 Estudio de carga

Los datos de las horas de uso son valores aproximados ya que la fundación se encuentra cerrada y no se conoce los valores exactos, pero se tiene un promedio. Se procedió a visitar la fundación para observar y realizar un estudio detallado de los componentes existentes en la fundación.

**Tabla 23.** Estudio de carga de la fundación COTAH parte superior

Descripción	número	P(w)	FFU N %	CIR (W)	Fin %	DMU (W)	Horas de uso	Potencia consumida en Wh/día
Licuada	2	550	40	440	20	88	2	176
Refrigeradora	3	120	70	2520	70	1764	24	4233.60
Bomba de agua	1	360	20	72	20	14.4	3	43.2
Tomacorrientes	90	300	25	6750	25	1687.5	2	3375
Focos LED	70	12	40	336	20	67.2	4	268.8
Lámpara LED	40	18	40	288	20	57.2	2	114.4
							total	8211

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 24.** Estudio de carga de la fundación COTAH parte inferior

Descripción	número	P(w)	FFU N %	CIR (W)	Fsn %	DMU (W)	Horas de uso	Potencia consumida en kWh/día
Laptops	20	65	60	780	40	312	4	1248
Proyectores	8	237	40	758	40	303.36	1	303.36
Bomba de vacío	1	360	20	72	20	14.4	2	28.8
Tomacorrientes	96	300	25	7200	25	1800	2	3600
Foco LED	120	14	60	1008	50	504	4	2016
Lámpara LED	112	18	60	1,210	50	604.8	3	1814.4
Lámpara LED	13	40	60	312	50	156	2	312
							total	9322.56

Elaborado por: Nelson Simbaña

### 3.11 Dimensionamiento del panel fotovoltaico

Al calcular el rendimiento del sistema globalmente, se sustituye los valores en la ecuación 17:

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.1 - 0.15) * \left(1 - 0.012 * \frac{3}{0.9}\right) \quad (17)$$

$$R = 0.624$$

Se tiene un rendimiento global del 62.4 %

### 3.12 Cálculo de la corriente por hora

Este cálculo corresponde a la corriente hora por cada panel fotovoltaico para ello se va a utilizar la expresión 16:

$$I_{pd} = HSP_{mes\ desfavorable} * Imp \quad (16)$$

$$I_{pd} = 3.47 * 9.46$$

$$I_{pd} = 32.82 \text{ A}$$

### 3.13 Cantidad de paneles requeridos para la instalación fotovoltaica

Los estudio de carga dieron como resultado que la parte superior de la fundación tiene un potencia consumida por hora de 8211 Wh/día, y 9322.56 Wh/día para la parte inferior con este valor se puede aplicar la expresión 3:

<p>Parte superior</p> $E_{nec} = \frac{Carga}{RG}$ $E_{nec} = \frac{8211}{0,624}$ $E_{nec} = 13158.65 \text{ Wh/dia}$	<p>Parte inferior</p> $E_{nec} = \frac{Carga}{RG} \quad (3)$ $E_{nec} = \frac{9322.56}{0,624}$ $E_{nec} = 14940 \text{ Wh/dia}$
---	---

Para conocer el número de cadenas en paralelo se utiliza la expresión 4:

<p>Parte superior</p> $N_{pa} = \frac{E_{nec}/V_{sis}}{I_{pd}}$ $N_{pa} = \frac{13158.65 / 48}{30,23}$ $N_{pa} = 10$	<p>Parte inferior</p> $N_{pa} = \frac{E_{nec}/V_{sis}}{I_{pd}} \quad (4)$ $N_{pa} = \frac{14940 / 48}{30,23}$ $N_{pa} = 11$
--	---

Es necesario conocer el número de paneles en serie para el sistema, por lo que se utiliza la expresión 5:

$$N_{se} = \frac{V_{sis}}{V_{npa}} \quad (5)$$

$$N_{se} = \frac{48}{24}$$

$$N_{se} = 2$$

Finalmente, para conocer la cantidad de paneles que se necesitara para esta implementación fotovoltaica se utilizará la expresión 3: [6]

Parte superior	Parte inferior	
$N_{mo} = N_{se} * N_{pa}$	$N_{mo} = N_{se} * N_{pa}$	(3)
$N_{mo} = 2 * 10$	$N_{mo} = 2 * 11$	
$N_{mo} = 20$	$N_{mo} = 22$	

### 3.14 Potencia del sistema fotovoltaico

Es importante conocer la potencia del campo fotovoltaico ya que con ese valor se puede definir la potencia que se obtiene con la selección del panel fotovoltaico que se va a utilizar para la instalación, para ello se utiliza la expresión 7:

Parte superior	Parte inferior	(7)
$P_{cf} = 315 * 20$	$P_{cf} = 315 * 22$	
$P_{cf} = 6300 W$	$P_{cf} = 6930 W$	

### 3.15 Intensidad del sistema fotovoltaico

Para el cálculo de la corriente del sistema se utiliza la expresión 8:

Parte superior	Parte inferior	(8)
$I_{cf} = I_{mp} * N_{pa}$	$I_{cf} = I_{mp} * N_{pa}$	
$I_{cf} = 9.46 * 20$	$I_{cf} = 9.46 * 22$	
$I_{cf} = 189.2 [A]$	$I_{cf} = 208.12 [A]$	

### 3.16 Cantidad de paneles para un sistema fotovoltaico conectado a la red

$$\begin{array}{l}
 \text{Parte superior} \\
 C_{psr} = \frac{E_{nec}}{V_{mp} * I_{mp} * HSP} \\
 C_{psr} = \frac{13158.65}{33.3 * 9.46 * 3.47} \\
 C_{psr} = 12.03 \\
 C_{psr} = 13
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Parte inferior} \\
 C_{psr} = \frac{E_{nec}}{V_{mp} * I_{mp} * HSP} \\
 C_{psr} = \frac{14940}{33.3 * 9.46 * 3.47} \\
 C_{psr} = 13.66 \\
 C_{psr} = 14
 \end{array}
 \quad (9)$$

### 3.17 Dimensionamiento del regulador de carga

Con el valor de la corriente de campo fotovoltaico se puede sustituir en la expresión 13:

$$\begin{array}{l}
 \text{Parte superior} \\
 I_{mr} = 1.10 * I_{cf} \\
 I_{mr} = 1.10 * 189.2 \\
 I_{mr} = 208.12 \text{ [A]}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Parte inferior} \\
 I_{mr} = 1.10 * I_{cf} \\
 I_{mr} = 1.10 * 208.12 \\
 I_{mr} = 228.932 \text{ [A]}
 \end{array}
 \quad (13)$$

### 3.18 Dimensionamiento del grupo de almacenamiento de energía.

Para el dimensionamiento del grupo de almacenamiento de energía, se va a ocupar una batería de gel de 136 Ah, en la Tabla 25 se hace referencia a sus especificaciones técnicas.

**Tabla 25.** Especificaciones técnica Batería sbb Gel 136 AH

Batería sbb Gel 136 Ah/48 VDC	
Capacidad nominal [Ah].	136
Voltaje nominal [V].	48

Elaborado por: Nelson Simbaña

Para encontrar la cantidad de corriente que puede almacenar las baterías se utiliza la expresión 10:

$$\begin{array}{l}
 \text{Parte superior} \\
 \frac{(E_{nec} * d_a)/V_{sis}}{P_{des}} \\
 C_{abb} = \frac{(13158.65 * 1)/48}{0,8}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Parte inferior} \\
 \frac{(E_{nec} * d_a)/V_{sis}}{P_{des}} \\
 C_{abb} = \frac{(14940 * 1)/48}{0,8}
 \end{array}
 \quad (10)$$

$$C_{abb} = 342.67 \text{ [A]}$$

$$C_{abb} = 389.06 \text{ [A]}$$

### 3.19 Cantidad de baterías en paralelo

Conociendo el valor de la cantidad de baterías se puede encontrar la cantidad de baterías en paralelo mediante la expresión 11.

Parte superior $N_{bpa} = \frac{C_{abb}}{C_{nb}}$ $N_{bpa} = \frac{342.67}{136}$ $N_{bpa} = 2.51$ $N_{bpa} = 3$	Parte inferior $N_{bpa} = \frac{C_{abb}}{C_{nb}} \quad (11)$ $N_{bpa} = \frac{389.06}{136}$ $N_{bpa} = 2.86$ $N_{bpa} = 3$
--	---

### 3.20 Cantidad de baterías en serie

$$N_{bse} = \frac{V_{sis}}{V_{nb}} \quad (12)$$

$$N_{bse} = \frac{48}{12}$$

$$N_{bse} = 4$$

### 3.21 Cálculo de conductores parte superior y parte inferior

Las 3 edificaciones que se encuentran en la parte superior son iguales, poseen los mismos elementos eléctricos, el edificio central es donde se va a alojar los inversores y baterías, desde allí las 2 edificaciones se encuentran a una distancia aproximada de 25 metros. Para ello cada edificación va a tener una potencia de 2737 W, dando como resultado una sección de conductor de  $7.77 \text{ mm}^2$ , pero el cable comercial que se puede encontrar tiene una sección de  $8.37 \text{ mm}^2$ , o cable 8 AWG. Para la protección principal se estimó un breaker de 40 A. Dentro de cada edificación para los circuitos de fuerza se estima una protección de 32 A, para las luminarias se estimó protecciones de 20 A. Para la parte inferior se tienen 5 edificaciones, donde se encuentran las aulas de clase y el edificio administrativo, las aulas son sencillas no poseen conexiones especiales a 220 V, los paneles fotovoltaicos van a estar ubicados a un costado del edificio administrativo, las baterías y los inversores estarán ubicados en planta baja en una oficina donde se encontraban los productos de los conserjes. El aula al costado del edificio administrativo está separado aproximadamente a 20 metros de distancia, el aula 3 se encuentra a 45 metros del edificio administrativo, la última aula se encuentra a 65 metros, estos datos fueron medidos por el tesista. Para el aula alejado a 20 metros se tiene un cable con sección de  $10.60 \text{ mm}^2$  cable 7 AWG teóricamente, pero ese cable

no se comercializa en Ecuador por lo que se puede adquirir un cable 8 AWG. Para la segunda aula ubicada a 45 metros se tiene un cable con una sección de  $9.52 \text{ mm}^2$ , el cable comercial que se utiliza es el 6 AWG. Para el edificio ubicado a 65 metros se tiene un cable con sección de  $13.76 \text{ mm}^2$  sería un cable 6 AWG. Cada edificación debe tener una protección principal de 30-40 A. al igual que la parte superior se tiene un breaker de 32 A para la parte de fuerza y de 20 A para la parte de iluminación. El costo de los conductores se especifica en el cuadro resumen de costos, en el ítem de materiales y accesorios para la instalación fotovoltaica.

### 3.22 Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento del inversor se va a tomar los datos obtenidos en el índice 3.10 donde se tienen las potencias de cada equipo, el factor de simultaneidad eléctrica estará definido por el proyectista para cada una de las cargas instaladas, puede estar expresada en valor porcentual o un valor entre 0 y 1, este valor depende del uso que van a tener los equipos.

**Tabla 26.** Tabla para encontrar la potencia del inversor parte inferior

Descripción	número	P(w)	FFUN %	CIR (W)	Fsn %	DMU (W)
Licuada	2	550	40	440	20	88
Refrigeradora	3	1200	70	2520	70	1764
Bomba de agua	1	360	20	72	20	14.4
Tomacorrientes	90	300	25	6750	25	1687.5
Focos LED	70	12	40	336	20	67.2
Lámpara LED	40	18	40	288	20	57.2
					Potencia	3678.3
					Demanda (W)	
					Potencia mínima del inversor (W)	4413.96

Elaborado por: Nelson Simbaña



**Tabla 27.** Tabla para encontrar la potencia del inversor parte inferior

Descripción	número	P(w)	FFUN %	CIR (W)	Fsn %	DMU (W)
Laptops	20	65	60	780	40	312
Proyectores	8	237	40	758	40	303.36
Bomba de vacío	1	360	20	72	20	14.4
Tomacorrien tes	96	300	25	7200	25	1800
Foco LED	120	14	60	1,008	50	504
Lámpara LED	112	18	60	1,210	50	604.8
Lámpara LED	13	40	60	312	50	156
					Potencia	4198.56
					Demanda (W)	
					Potencia	5038.272
					mínima del	
					inversor (W)	

Elaborado por: Nelson Simbaña

El valor que se obtuvo de la potencia demanda simultanea se lo multiplicó por el 20 % como lo indica el índice 2.12 para el dimensionamiento del inversor se basa en la potencia instalada, que previamente se lo realizó en el índice 3.10 y se lo multiplica por un factor de 1.20 para sobredimensionar el sistema ante posibles incrementos de aparatos eléctricos. Para usuarios que tengan un consumo considerable es recomendable usar baterías que trabajen a 48 v, y en paneles solares se recomienda utilizar paneles que trabajen a 24 v ya que están conformadas por 72 células fotovoltaicas y son dan un voltaje de salida de aproximadamente 31 v.

### 3.23 Costo de kW instalado

Mediante la expresión 22 se conoce el precio del kW instalado, con este valor se tiene idea del precio que tendrá la implementación fotovoltaica esto relacionándola con su potencia eléctrica.

$$\begin{array}{cc}
 \text{Parte superior} & \text{Parte inferior} \\
 C_{kwi} = \frac{C_{ti}}{P_{cf}} & C_{kwi} = \frac{C_{ti}}{P_{cf}} \quad (22)
 \end{array}$$

$$C_{kwi} = \frac{9500}{6300}$$

$$C_{kwi} = 1.5 \text{ \$/kWins}$$

$$C_{kwi} = \frac{9760}{6930}$$

$$C_{kwi} = 1.4 \text{ \$/kWins}$$

### 3.24 Energía mensual entregada por el sistema fotovoltaico

Mediante la expresión 23 se conoce la potencia generada mensualmente por parte del sistema fotovoltaico.

Parte superior	Parte inferior
$E_{mes}$ $= \left[ \frac{P_{max} * C_{psr} * 30 * 30 * HSP}{1000} \right]$ $/360$ $E_{mes}$ $= \frac{\left[ \frac{315 * 13 * 365 * 30 * 3.47}{1000} \right]}{360}$ $E_{mes} = 432.210 \text{ W}$	$E_{mes}$ $= \left[ \frac{P_{max} * C_{psr} * 13 * 30 * HSP}{1000} \right]$ $/360$ $E_{mes}$ $= \frac{\left[ \frac{315 * 14 * 365 * 30 * 3.47}{1000} \right]}{360}$ $E_{mes} = 465.45 \text{ W}$

### 3.25 Costo por consumo

La expresión 24 hace referencia al costo mensual por la potencia consumida.

Parte superior	Parte inferior
$C_{pc} = E_{mes} * C_{kWh(Ecuador)}$ $C_{pc} = 664.93 * 0.1$ $C_{pc} = \$ 43.22$	$C_{pc} = E_{mes} * C_{kWh(Ecuador)}$ $C_{pc} = 731.43 * 0.1$ $C_{pc} = \$ 46.54$

### 3.26 Tiempo de reembolso

Mediante la expresión 25 se conocerá el tiempo de reembolso de la instalación fotovoltaica.

Parte superior	Parte inferior
$Rem = \left[ \frac{C_{ti}}{C_{pc}} \right] / 12$ $Rem = \left[ \frac{9500}{43.22} \right] / 12$ $Rem = 18 \text{ años}$	$Rem = \left[ \frac{C_{ti}}{C_{pc}} \right] / 12$ $Rem = \left[ \frac{9760}{46.54} \right] / 12$ $Rem = 18 \text{ años}$

### 3.27 Cuadro resumen

**Tabla 28.** Resumen técnico parte superior de la fundación COTAH

Resumen técnico del sistema fotovoltaico		
Componente	Número de elementos	Unidades
Panel fotovoltaico	20	315 W
Baterías	12	136 Ah/48V
Inversor	1	4 kW

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 29.** Resumen técnico parte inferior de la fundación

Resumen técnico del sistema fotovoltaico		
Componente	Número de elementos	Unidades
Panel fotovoltaico	22	315 W
Baterías	12	136 Ah/48 V
Inversor	1	5 kW

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 30.** Costos de principales elementos parte superior

Ítem	Especificación	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel solar	HG-300S monocrystalline solar PV 300-350 W	20	pcs	\$ 180.00	\$ 3600
Batería	136 Ah/12 V Solar Lead Acid	12	set	\$ 250	\$ 3000
Inversor	4 kW	1	pcs	\$ 700	\$ 1025
Gabinete de distribución AC	4 kW	1	pcs	\$ 700	\$ 1025
Cable	Cable 6 AWG	400	metros	\$ 1.25	\$ 500
Regulador de carga	Regulador de 200-300 A	1		\$ 350	\$ 350
Total					\$ 9500

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 31.** Costos de principales elementos parte inferior

Ítem	Especificación	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel solar	HG-300S monocrystalline solar PV 300-350 W	22	pcs	\$ 180.00	\$ 3960
Batería	150 Ah/12 V Solar Lead Acid	12	set	\$ 250	\$ 3000
Inversor	5 kW	1	pcs	\$ 500	\$ 1025
Gabinete de distribución AC	5 kW	1	pcs	\$ 800	\$ 1075
Cable	Cables 8 AWG	300	metros	\$ 1.16	\$ 350
Regulador de carga	Regulador de 200-300 A	1		\$ 350	\$350
Total					\$ 9760

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 32.** Elementos varios

Ítem	Precio
Materiales y accesorios para la instalación.	\$ 750
Tendido eléctrico y conexión del sistema fotovoltaico	\$ 750
Mano de obra de la instalación	\$ 1050
Viáticos	\$ 300

Elaborado por: Nelson Simbaña

**3.28 Caso 2 de diseño**

Para el segundo caso de diseño se propone un sistema fotovoltaico ON-GRID sin almacenamiento, con esto se espera una reducción de costos para hacer el sistema más factible, para ello se tiene previsto la misma demanda que el primer caso de diseño, en las horas de mayor demanda energética la fundación debe estar consumiendo la energía que se genera por medio de los paneles, tomando en cuenta esas consideraciones para la fundación es viable técnicamente realizar el diseño sin almacenamiento, en la tabla 33 está un resumen técnico del sistema fotovoltaico.

**Tabla 33** Propuesta 2 de diseño

Resumen técnico del sistema fotovoltaico		
Componente	Número de elementos	Unidades
Panel fotovoltaico	27	315 W
Inversor parte superior	1	5 kW
Inversor parte inferior	1	5 kW

Elaborado por: Nelson Simbaña

Para la parte inferior de la fundación se utilizará una cantidad de 14 paneles fotovoltaicos, para la parte superior se utilizará 13 paneles fotovoltaicos.

En la Tabla 34 se presenta elementos que son arte principal en un sistema de generación solar a implementarse en la fundación COTAH

**Tabla 34.** Costo caso 2 de diseño

Ítem	Especificación	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel solar	HG-300S monocrystalline solar PV 300-350 W	27	Pcs	\$ 180.00	\$ 4860
Inversor	kW	1	Pcs	\$ 500	\$ 500
Cables	Cables 8 y 6 AWG	700	metros	\$ 1.21	\$ 850
Total					\$ 6210

Elaborado por: Nelson Simbaña

El valor de 6860 hace referencia al valor total de los 2 sistemas fotovoltaicos para la parte superior e inferior, como se puede notar el costo se reduce considerablemente a comparación de la propuesta 1, el único inconveniente es el tiempo de reembolso que es de 14 años aproximadamente, adicional se aumenta el costo de la Tabla 31. Elementos varios.

### 3.29 Caso 3 de diseño

Para este diseño se tiene previsto alimentar las principales cargas de cada edificación que son los computadores de los estudiantes, los circuitos de fuerza, bombas que utilizan para el ordeño de las vacas, el sistema de iluminación no es una carga urgente para alimentar, en las noches es donde más se utilizan las luminarias, estas se pueden alimentar por medio de la red eléctrica. Para la parte superior se va a considerar una carga de 3594.2 W, en la parte inferior se considera una carga de 5180.16 W. el inversor tiene un aumento de capacidad del 20 %, esto se debe a la corriente de

arranque de los motores que son de 5 a 8 veces la corriente nominal. Tabla 35 se resume técnicamente de la propuesta 3.

**Tabla 35.** Propuesta 3 de diseño

Resumen técnico del sistema fotovoltaico		
Componente	Número de elementos	Unidades
Panel fotovoltaico	9	315 W
Inversor parte superior	1	2 kW
Inversor parte inferior	1	3 kW

Elaborado por: Nelson Simbaña

Para la parte superior se utilizarán 4 paneles fotovoltaicos, para la parte inferior se utilizará 5 paneles fotovoltaicos.

**Tabla 36.** Costo caso 3 de diseño

Ítem	Especificación	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel solar	HG-300S monocrystalline solar PV 300-350 W	9	pcs	\$ 180.00	\$ 1620
Inversor	kW	1	pcs	\$ 400	\$ 400
Cables	Cables 8 y 6 AWG	700	metros	\$ 1.21	\$ 850
Total					\$ 2370

Elaborado por: Nelson Simbaña

## CAPÍTULO IV

### Modelamiento Homer pro

Se modela el primer caso de diseño, como referencia se tiene los cálculos realizados en el capítulo 3. Lo primero que se realiza al momento de modelar un sistema en el software Homer pro es ingresar el dato de las coordenadas del lugar para que el software pueda extraer datos como la irradiación solar promedio en la zona por medio de la base de datos de pwwatts, los datos de irradiación solar son similares a los datos proporcionados por el “Atlas solar del Ecuador”. El software también proporciona datos de la temperatura del lugar y esto ayuda a la modelación de la potencia entregada por parte del panel fotovoltaico.



**Figura 24.** Datos de coordenadas en software Homer pro

Fuente Homer pro

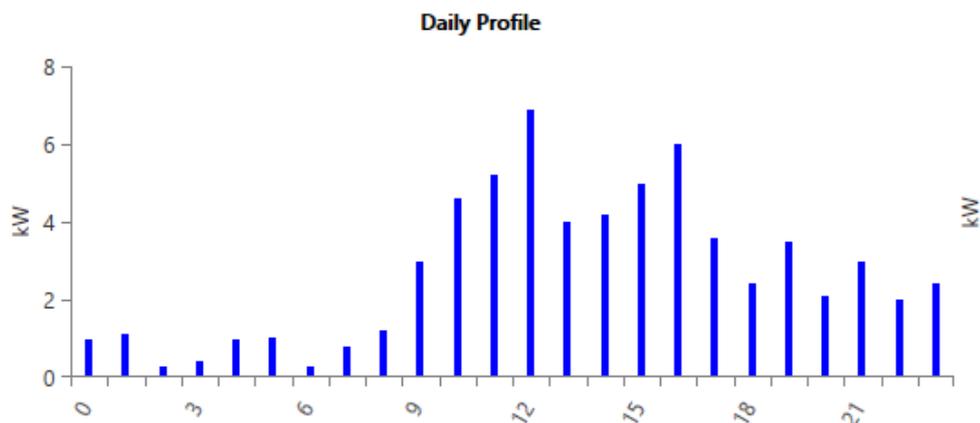
En la tabla 37 se detalla los valores ingresados para realizar la modelación del caso 1 de diseño.

**Tabla 37.** Datos para la modelación

Componente	Dato parte superior	Dato parte inferior
Electric Load 1	8.3 [kWh/día]	9.2 [kWh/día]
Panel fotovoltaico	0.32 [kWh]	0.32 [kWh]
Batería	Voltaje nominal: 48 V Capacidad nominal:48 V Capacidad máxima:136 Ah Constante de carga(1/hr): 0.827 Eficiencia: 80% Máxima corriente de carga: 16.7 [A]	Voltaje nominal: 48 V Capacidad nominal:48 V Capacidad máxima:136 Ah Constante de carga(1/hr): 0.827 Eficiencia: 80% Máxima corriente de carga: 16.7 [A]
Inversor	4 [kW]	5 [kW]

Elaborado por: Nelson Simbaña

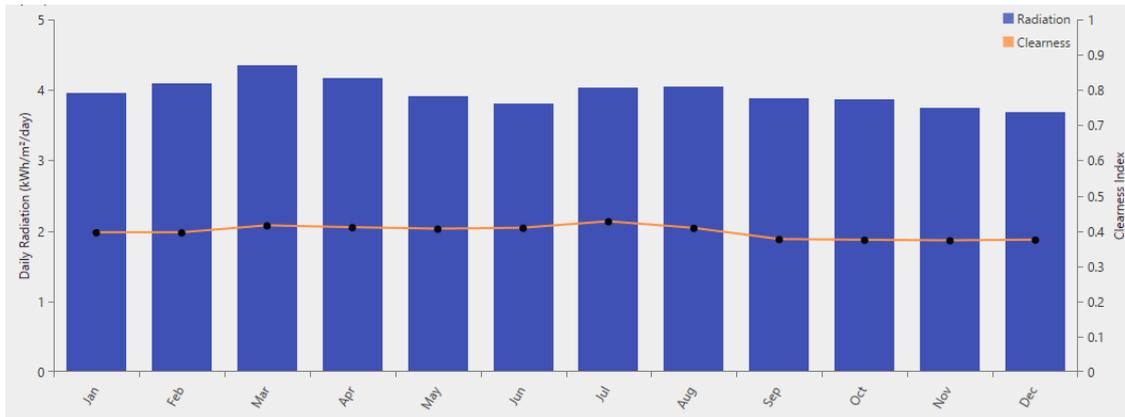
En la Figura 25 se detalla los perfiles de carga diarios por parte de la fundación



**Figura 25.** Perfiles diarios de carga

Fuente: Homer

Las irradiaciones del lugar fueron descargadas de la base de pwwatts, como se observa en la figura 26 los datos se asemejan a los sacados del “Atlas Solar del Ecuador”.

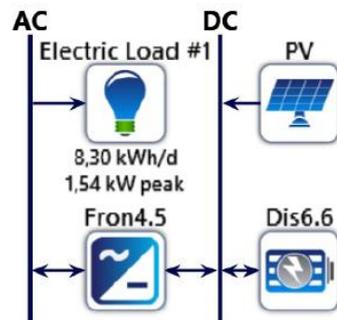


**Figura 26.** Datos de irradiación solar de la fundación COTAH

Fuente: Homer

Configuración en el software para la modelación para el caso 1

**Schematic**

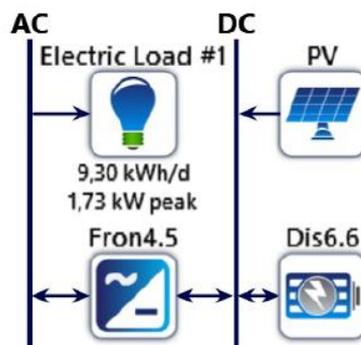


**Figura 27.** Configuración del sistema fotovoltaico parte superior

Fuente: Homer

Configuración en el software para la modelación para el caso 2

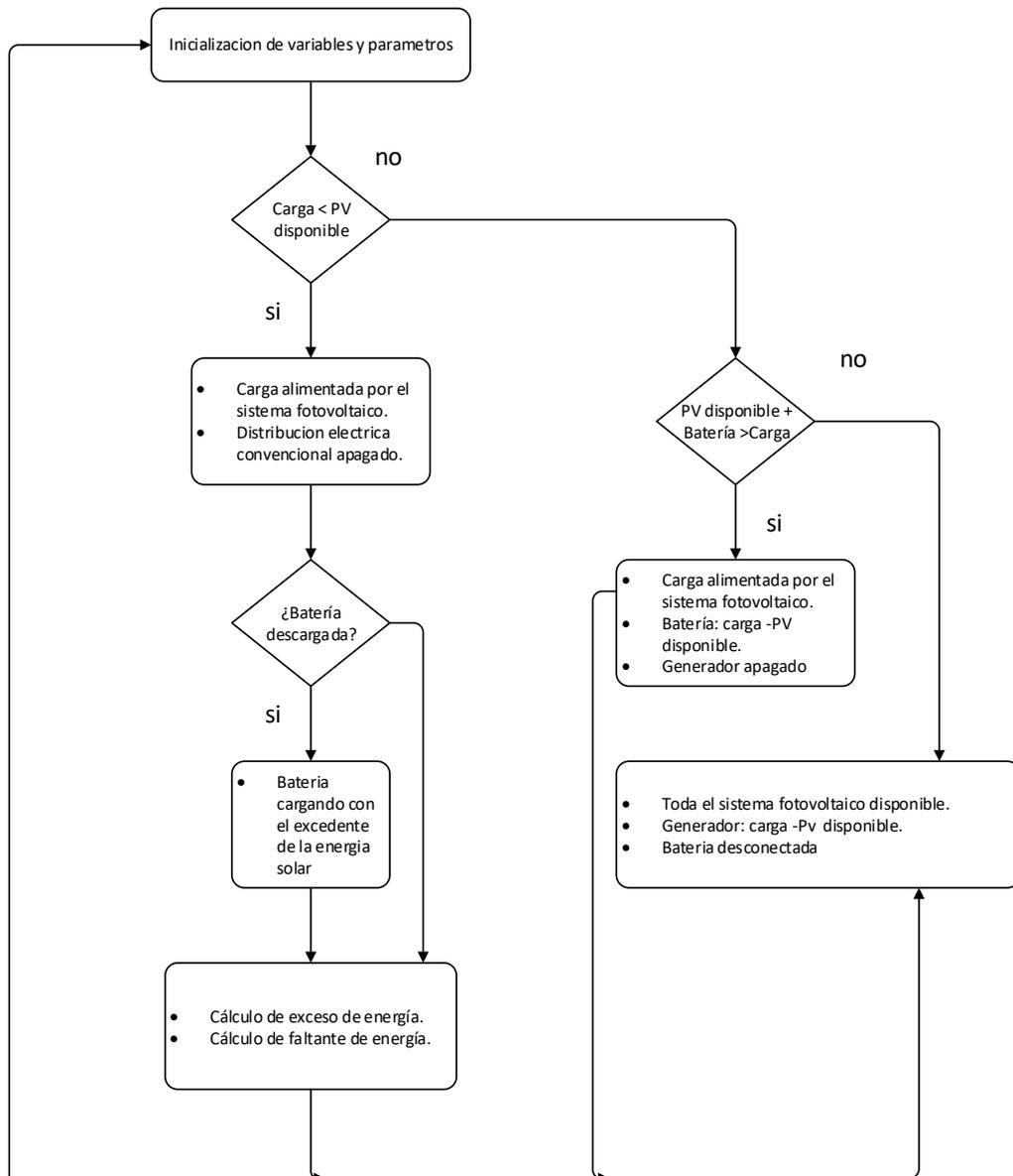
**Schematic**



**Figura 28.** Configuración del sistema fotovoltaico parte inferior

Fuente: Homer

Tanto para el sistema 1 y 2 se utilizaron los mismos valores lo único que cambio fue la potencia consumida cada hora. El sistema será modelado según el siguiente flujograma:



Homer pro utiliza los datos ingresados como el perfil de carga diario, los datos de irradiación para el diseño del sistema fotovoltaico, los datos que arroja Homer pro son la potencia que va a tener los paneles fotovoltaicos, la cantidad de baterías en función de las características de la batería seleccionada, la potencia del inversor según la potencia instalada. También realiza un análisis económico según los precios ingresados de los paneles, baterías, inversor. Con esos resultados se conoce el precio total del sistema, los gastos que van a tener en el transcurso del buen funcionamiento de este sistema fotovoltaico, gastos como cambio de implementos, mantenimientos, etc.

#### 4.1 Parte superior de la fundación COTAH

**Tabla 38.** Costo anualizado de la instalación parte superior

Nombre	Capital	Mantenimiento	Reemplazo	Total
Banco de batería	\$ 600	\$ 48	\$ 15000	
Panel	\$ 144	\$ 8	\$ 0	
Sistema de conversión	\$ 58.33	\$ 20	\$ 1400	
Sistema fotovoltaico	\$ 802.33	\$ 76	\$ 16400	\$ 17278.33

Elaborado por: Nelson Simbaña

En el caso de las baterías, el costo total del sistema de almacenamiento es de \$ 3000, pero se garantiza un excelente funcionamiento de las baterías es de aproximadamente de sesenta meses lo que da como resultado que anualmente se gasta \$ 600 en el sistema de almacenamiento. Los paneles fotovoltaicos tienen un valor de \$ 3600, a comparación de las baterías los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil de 25 años, por lo tanto el valor total dividido para los 25 años da un gasto anual de \$ 144 por año. El inversor tiene una vida útil de 12 años aproximadamente, a lo largo de los 25 años se van a cambiar 2 veces, el inversor tiene un precio de \$ 700, se tiene un total de \$1400 eso se debe a que el inversor se cambia 2 veces en los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico, este valor entre los 25 años da como resultado un gasto anual de \$ 58.33. en la tabla 37 se adjunta el valor de los reemplazos de los implementos a lo largo de 25 años.

Tabla 39 detalla datos como; producción en un año de la energía eléctrica.

**Tabla 39.** Producción de energía durante el año

Componente	Producción (kWh/año)	Porcentaje
Panel	70.7	100
Total	70.7	

Elaborado por: Nelson Simbaña

En la Tabla 40 se presenta el exceso de energía eléctrica durante el año

**Tabla 40.** Excedente de electricidad

Cantidad	Valor	Unidad
Exceso de electricidad	3.842	kWh/año

Elaborado por: Nelson Simbaña

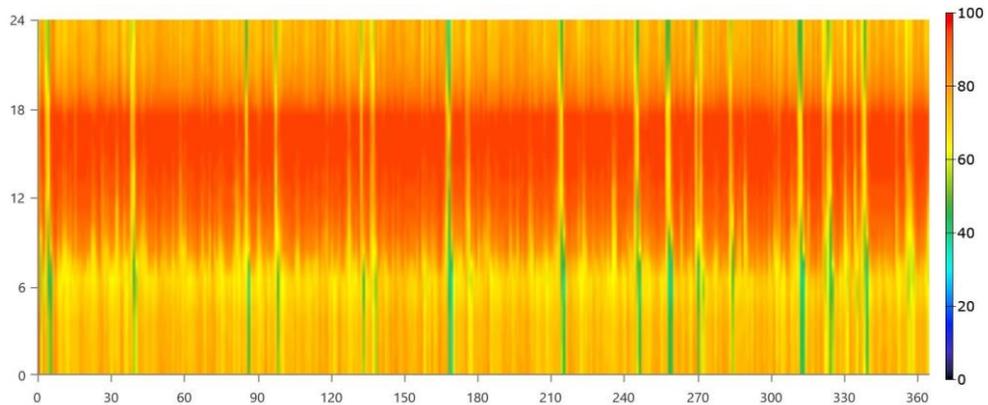
Almacenamiento:

El banco de baterías está conformado por 13 baterías a 48 v que va a funcionar el sistema de almacenamiento

**Tabla 41.** Resultados energéticos de la batería

Cantidad	Valor	Unidad
Costo medio de energía	1.4	\$/kWh
Energía de entrada	1.690	kWh/año
Energía de salida	1.612	kWh/año
Perdidas	1.88	kWh/año
Rendimiento anual	1.654	kWh/año

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Figura 29.** Estado de carga de la batería

Fuente: Homer pro

El sistema de almacenamiento tiene como mínimo de descarga al 80%, y esto se da en las horas del día que se presenta un mayor consumo energético, en las horas del día que la fundación no posee una demanda energética mayor el sistema de almacenamiento está cargado casi en su totalidad.

Inversor:

El sistema de conversión de la energía eléctrica tiene las siguientes características técnicas se lo representa en la tabla 42.

**Tabla 42.** Especificaciones del inversor

Cantidad	Valor	Unidades
Tiempo de operación	5,760	hrs/día
Energía de salida	3.030	kWh/año
Energía de entrada	3.117	kWh/año
Perdidas	1	kWh/año
Capacidad	4.50	kW
Media Salida	0.346	kW
Mínima Salida	0.0153	kW
Máximo Salida	1.54	kW

Fuente: Homer pro

## 4.2 Parte inferior de la fundación COTAH

La parte inferior de la fundación COTAH tiene un mayor consumo energético a comparación de la parte superior, por lo tanto, el sistema fotovoltaico va a ser un poco mayor, Homer pro propone que el sistema debe producir 6,83 kW para suplir la demanda de la parte inferior, un arreglo de 3 baterías en paralelo y una cadena de 4 baterías en serie dando un total de 12 baterías, esto ya depende del diseñador, esto depende al voltaje que se desea trabajar, en el caso de Homer pro se va a trabajar a un voltaje de 48 v, en la Tabla 43 se presenta el detalle de costos

**Tabla 43.** Costo total de la instalación parte inferior

Nombre	Capital	Operación	Reemplazo	Total
Banco de baterías	\$ 600	\$ 48	\$ 15000	
Panel	\$ 158.4	\$ 8	\$ 0	
Sistema de conversión	\$ 5.6	\$ 20	\$ 1400	
Sistema fotovoltaico	\$ 764	\$ 76	\$ 16400	\$ 17210

Fuente: Homer pro

En la tabla 44 se detalla la producción de energía eléctrica durante el año

**Tabla 44.** Producción de energía durante el año

Componente	Producción (kWh/año)	Porcentaje
Panel	73.2	100
Total	73.2	

Fuente: Homer pro

En la Tabla 45 se presenta el exceso de energía eléctrica durante el año

**Tabla 45.** Excedente de electricidad

Cantidad	Valor	Unidad
Exceso de electricidad	3.927	kWh/año

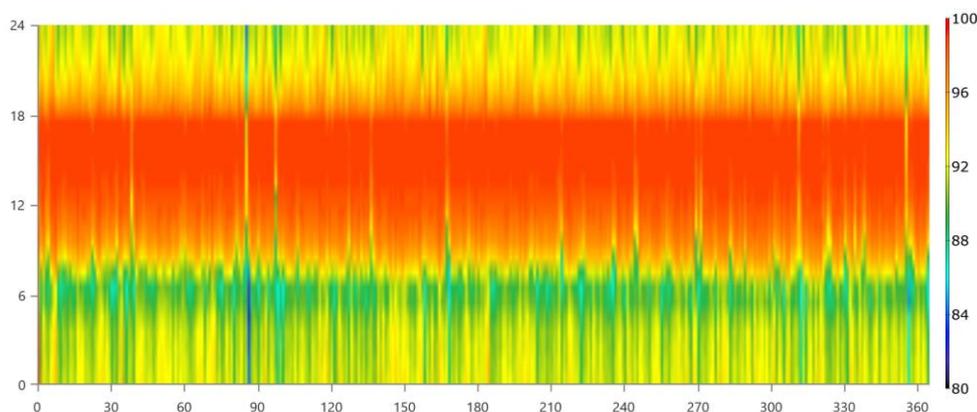
Fuente: Homer pro

Sistema de almacenamiento:

**Tabla 46.** Resultados energéticos de la batería

Cantidad	Valor	Unidad
Energía de entrada	1.921	kWh/año
Energía de salida	1.834	kWh/año
Pérdidas	1.2	kWh/año
Rendimiento anual	1.881	kWh/año

Fuente: Homer pro



**Figura 30.** Estado de carga de la batería

Fuente: Homer pro

Inversor:

El inversor posee las siguientes características técnicas se lo representa en la tabla 47.

**Tabla 47.** Especificaciones del inversor

Cantidad	Valor	Unidades
Tiempo de operación	6.760	hrs/día
Energía de salida	3.394	kWh/año
Energía de entrada	3.492	kWh/año
Pérdidas	1	kWh/año
Capacidad	4.70	kW
Salida media	0,388	kW
Salida mínima	0.0171	kW
Salida máxima	1.73	kW

Fuente: Homer pro

Mediante Homer pro se pudo obtener todos los datos de las proyecciones técnicas y económicas, los costos anuales y costos totales, Homer pro nos dio sugerencias técnicas del sistema, la potencia de los paneles y cantidad de baterías, potencia del inversor, con todos esos datos se pudo comparar con el diseño realizado por el autor, arrojando un diseño similar, el autor de la tesis se basa en el modelo isotrópico de Pérez para sistemas fotovoltaicos, no se utilizó el método MPPT (Maximum Power

Point Tracker), los paneles van a entregar la máxima potencia en las horas de mayor captación de energía solar, y están limitados por las características propias del componente. Lo que se quiere decir es que el pico MPP (Maximun Power Point) está definido por el fabricante, en las horas de menor captación de energía solar, el panel fotovoltaico generará menor potencia eléctrica.

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante el modelamiento realizado en el software Homer pro, se obtuvo datos técnicos y económicos del primer caso de diseño dando resultado parecidos a los del autor, los factores técnicos se los detalla en la tabla 48-49, se presenta los datos obtenidos mediante Homer pro y datos calculados teóricamente por el autor, tanto de la parte superior como inferior de la fundación.

**Tabla 48.** Comparación técnica Homer pro vs el autor, parte superior

	Potencia PV	Sistema de almacenamiento	inversor
Homer pro	5.83 kWh	13 baterías	4.5 kW
El autor	6.30 kWh	12 Baterías	4.4 kW

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 49.** Comparación técnica Homer pro vs el autor, parte inferior

	Potencia PV	Sistema de almacenamiento	inversor
Homer pro	6.5 kWh	13 baterías	4.7 kW
El autor	6.93 kWh	12 Baterías	5.038 kW

Elaborado por: Nelson Simbaña

Teniendo estos resultados se observa que el diseño preliminar realizado por el autor es factible técnicamente, ya que Homer presenta varias opciones de diseño, siendo esta la primera y más cercana a la del autor.

Para conocer el diseño más viable para la implementación también se debe tener en cuenta el factor económico, por lo que se puede dar cuenta en las tablas 50-51.

**Tabla 49.** Comparación económica Homer pro vs el autor, parte superior

	Potencia PV	Sistema de almacenamiento	inversor
Homer pro	3600 \$	1500 \$	1400 \$
El autor	3600 \$	3000 \$	1025 \$

Elaborado por: Nelson Simbaña

**Tabla 51.** Comparación económica Homer pro vs el autor, parte inferior

	Potencia PV	Sistema de almacenamiento	inversor
Homer pro	4160 \$	15000 \$	1400 \$
El autor	3960 \$	3000 \$	1025 \$

Elaborado por: Nelson Simbaña

Para tener un diseño óptimo tanto técnico como económico, se propone la implementación de un sistema fotovoltaico ON-GRID, este diseño es capaz de suministrar la energía eléctrica suficiente requerida por la demanda, y a su vez reduciendo los costos en la implementación, como se sabe un sistema OFF-GRID es mucho más costoso por el sistema de almacenamiento que posee. En el capítulo 3 se realizaron 3 propuestas de diseño, donde se concluyó que el caso 3 de diseño es mucho más factible.

Para incentivar a la implementación de sistemas fotovoltaicos el Arconel ha dispuesto una serie de beneficios para que los usuarios utilicen energías renovables en este caso la energía solar. Se dispone que los usuarios van a tener un costo de \$ 0 en su planilla eléctrica, por lo que el único costo que van a tener los usuarios son el costo inicial para la implementación del sistema fotovoltaico, los elementos que intervienen en el sistema fotovoltaico van a tener una liberación de aranceles para que se abaraten los costos. Al momento de la compra de los paneles fotovoltaicos van a tener una tarifa del 0% del IVA. Teniendo en cuenta todo esto igual el tiempo de reembolso se torna muy largo lo que hace que el proyecto no se vuelva factible, por lo que, se propone que los representantes de la fundación COTAH realicen un préstamo a un banco por el valor de \$ 10000, con este préstamo se puede cubrir el costo inicial del sistema, se plantea sacar el préstamo a 5 años, teniendo cuotas mensuales de aproximadamente de 200 \$, dependiendo los intereses del contrato.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES**

Un sistema fotovoltaico es factible debido a las condiciones climatológicas donde se encuentra ubicada la fundación, en general Ecuador tiene gran potencial para la aplicación de energías renovables como en este caso un sistema fotovoltaico con almacenamiento, posee un capital inicial muy elevado a comparación de otras fuentes de producción de energía eléctrica como la Hidráulica que produce la mayor cantidad de potencia eléctrica del país, por este motivo no es posible que la implementación de energías renovables no se ha aumentado considerablemente en el país. De las 3 propuestas de diseño presentadas, la tercera propuesta es la más factible económica y técnicamente, el tercer sistema tiene un valor total de \$ 6340, este valor es mucho más accesible para los representantes de la fundación COTAH, si no se tiene el dinero se puede optar por un préstamo bancario, los intereses son bajos y con cuotas módicas, al acabar de pagar el préstamo, se tendrá réditos económicos por parte del sistema fotovoltaico, en un simulador de crédito del banco del pichincha se simuló un préstamo de \$ 7000 a 36 meses dando como resultado cuotas de \$ 230.06,

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar un panel monocristalino por las condiciones climatológicas de la fundación COTAH, los paneles policristalinos están enfocados a ambientes con presencia alta de contaminación. La potencia de los paneles va a ser de 300-350 W, no se puede considerar mayor potencia por el motivo que en el país no existen paneles fotovoltaicos con mayor producción de potencia, teóricamente si se utilizara un panel con mayor producción de energía se reducirá el costo total del sistema fotovoltaico. Para el banco de baterías se utiliza una batería con almacenamiento de 130 Ah ya que se debe almacenar toda la potencia generada por parte de los paneles y esta batería cumple con las condiciones de diseño, si se utiliza una batería con menos capacidad de almacenaje Ah se utilizarán mayor cantidad de baterías lo que incrementara el costo total del sistema. Se recomienda un sistema conectado a la red sin almacenamiento, es mucho más económico. Los representantes de la fundación deberían implementar una cultura de ahorro energético a todos los miembros que forman parte de la fundación tanto como los estudiantes y personal administrativo.

## REFERENCIAS

- [1] G. De Nuevas and A. Profesionales, *Energía Solar Fotovoltaica* 2E5C69a6. 2002.
- [2] J. Moragues and A. Rapallini, Instituto Argentino de la Energía, *Energía Eólica*, p. 22, 2003,
- [3] A. A. M. G. arconel, Resolución no. arconel-006/2020, 19 Junio, p. 58, 2020.
- [4] A. Castillo Ramírez, F. Villada Duque, and J. A. Valencia Velásquez, Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas, *Rev. Tecnura*, vol. 18, no. 39, p. 77, 2013.
- [5] L. Iannelli and S. Gil, Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor, *Am. J. Phys. Educ*, vol. 6, no. 1, 2012.
- [6] O. Perpi, *Energía solar*, no. January 2011, 2014.
- [7] X. Pons, Estimación de la radiación solar a partir de modelos digitales de elevaciones : propuesta metodológica, VII Coloq. Geogr. Cuantitativa, Sist. Inf. Geográfica y Teledetección, no. 7è, 1996, Accessed: Oct. 15, 2020.
- [9] R. Con and E. L. Cambio, Mediciones de radiación uv-b en Ibarra- Ecuador y su relación con el cambio climático autor José Huaca Pinchao 1 , autora Eliana Ormeño Mejia 2 1.
- [10] R. Haag and A. Krenzinger, Espectro solar característico para a região do semiárido brasileiro, VI Congr. Bras. Energ. Sol., no. June, 2016.
- [11] O. F. Vaca D, *Research in alternative energy*, 2019.
- [12] F. Vega-villasante, irradiación solar e iluminación sobre la germinación de semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum*, no. October 2015, 1996.
- [13] J. I. Palacios Rios and A. Morales Benavides, Productividad de Paneles Solares Monocristalinos, *Somim*, pp. 73–81, 2017.
- [14] J. I. Palacios Rios and A. Morales Benavides, Productividad de Paneles Solares Monocristalinos, *Somim*, pp. 73–81, 2017.
- [15] F. Vega-villasante, irradiación solar e iluminación sobre la germinación de semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum*, no. October 2015, 1996.
- [16] J. I. Palacios Rios and A. Morales Benavides, Productividad de Paneles Solares Monocristalinos, *Somim*, pp. 73–81, 2017.
- [17] J. Barbosa, Estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares ( monocristalino y policristalino ) en bogotá . Propuesta de

Trabajo de Grado , presentada como requisito para optar al título de Magister en Docencia e Investigación Uni, Univ. Sergio Arboleda.Escuela Postgrados.Maestría en docencia e Investig. Univ., p. 137, 2013.

- [18] Permenkes, Paneles fotovoltaicos, vol. 10, no. 2, pp. 1–15, 2018.
- [19] P. Díaz, Sistemas Fotovoltaicos Autónomos : Aplicación a La, 2003.
- [20] P. D. V. Salas, Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la pucp (tesis de pregrado), Pontif. Univ. Católica del Perú, p. 7, 2014.
- [21] M. M. Baldasaro, Estudio de factibilidad del uso de energía solar fotovoltaica a nivel residencial en generación distribuida, mediante el mecanismo ‘net metering, vol. 7, pp. 219–232, 2014.
- [22] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Anuario meteorológico Nº 53-2013, no. 52. 2017.
- [23] D. Guasch, “Modelado y Análisis de Sistemas Fotovoltaicos,” p. 224, 2006.

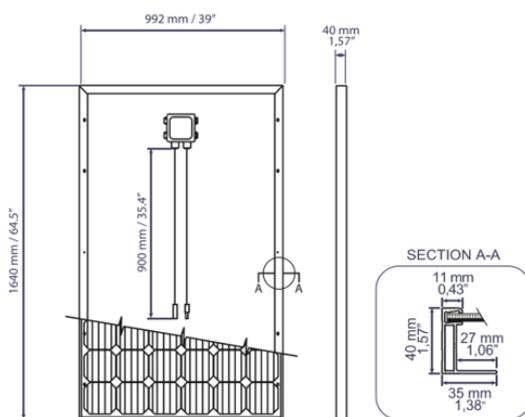
## ANEXOS

### Anexo 1: Ficha técnica del panel fotovoltaico

Celdas	60 (6x10) monocristalinas PERC
Tamaño Celdas	156x156 mm / 6x6"
Cubierta Frontal	3.2 mm / 0.12" grosor, vidrio templado
Cápsula	TPT (Tedlar-PET-Tedlar)
Cubierta Posterior	EVA (Etilene Vinil Acetato)
Marco	Aleación de aluminio anodizado doble grosor
Acabados Marco	Negro
Acabados Lámina posterior	Blanco
Diodos	3 Diodos de Bypass
Junction Box	certificado IP67
Conectores	MC4 o conettori compatibili
Longitud Cables	900 mm / 35.4"
Sección Cables	4.0 mm <sup>2</sup> / 0.006 in <sup>2</sup>
Tamaños	1640x992x40 mm / 64.5x39x1.57"
Peso	18 kg / 39.7 lbs
Carga Máx.	Certificado per 5400 Pa

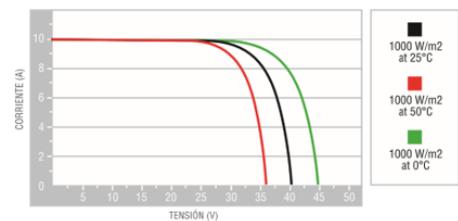
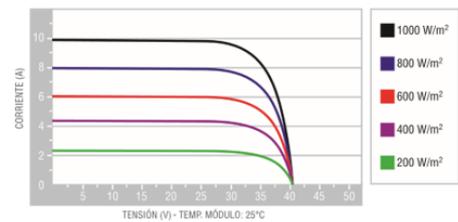
Fuente: PEIMAR Italian phovoltaic module

#### TAMAÑO



#### CARACTERÍSTICAS CORRIENTE/VOLTAJE

Valores referidos al panel: SG315M (BF)



Fuente: PEIMAR Italian phovoltaic module

### Anexo 2: Ficha técnica de la batería

## LTH Ciclado Profundo - Aplicaciones Marinas

Los acumuladores LTH Ciclado Profundo para aplicaciones marinas han sido diseñados para soportar un alto número de descargas profundas y ser recargados sin afectar su desempeño.

Estos acumuladores son ideales para proveer energía eléctrica a todos los dispositivos adicionales que demanden energía a la embarcación, y que no cuenten con un sistema de generación propia o excedan la capacidad del sistema eléctrico. Por ejemplo: sistemas de navegación, equipos de radiocomunicación, troleadores, etc.

También pueden ser utilizados en aplicaciones como sistemas fotovoltaicos y bancos de respaldo.



### Especificaciones del Producto

BCI	Aplicación	Voltaje	Polaridad	Dimensiones			Peso (kgs)	Garantía (meses)	
				Largo	Ancho	Alto*		Sin Costo	Prorrata
29H	Ciclado Profundo	12	(+) / (-)	330	172	240	27.0	12	0

\*La altura máxima incluye el poste

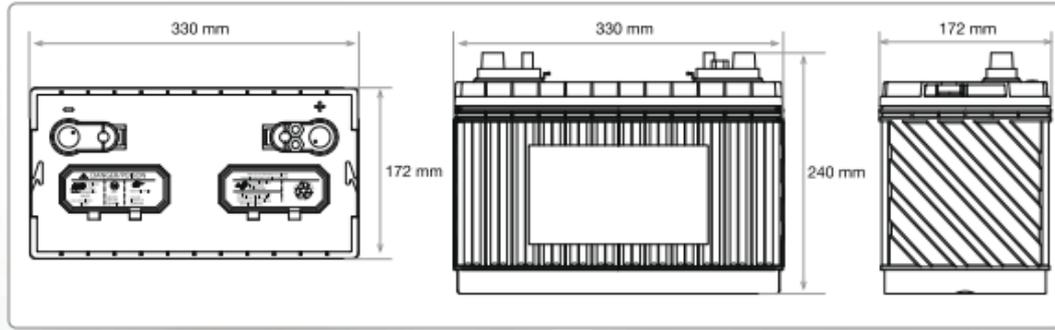
Amperios / Hora				Descarga (Amperios)				Capacidad de Reserva (Minutos)			Energía (kWh)		
@ 5Hrs.	@ 10Hrs.	@ 20Hrs.	@ 100Hrs.	@ 5Hrs.	@ 10Hrs.	@ 20Hrs.	@ 100Hrs.	@ 25 Amps.	@ 56 Amps.	@ 75 Amps.	@ 5Hrs.	@ 20Hrs.	@ 100Hrs.
97	109	124	135	19.3	10.9	6.2	1.4	210	-	55	1.16	1.49	1.62

Voltaje del Sistema	Ajustes de Voltaje de Cargadores (@25° C)					
	6V	12V	24V	36V	48V	60V
Carga Lenta	7.40	14.80	29.60	44.40	59.20	74.00
Carga Flotante	6.60	13.20	26.40	39.60	52.80	66.00
Carga de Nivelación	7.75	15.50	31.00	46.50	62.00	77.50



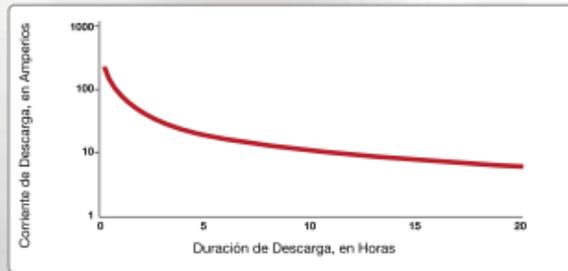
Fuente: LTH ciclo profundo

**MEDIDAS**



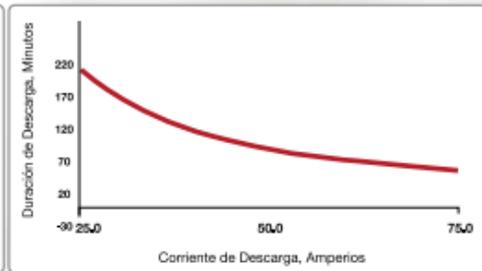
**DESCARGA (AMPERIOS) SEGÚN PERIODO DE HRS.**

\*Para fines de estimación solamente



**CAPACIDAD DE RESERVA SEGÚN DESCARGA**

\*Para fines de estimación solamente



Fuente: LTH ciclo profundo

**Anexo 3: Ficha técnica inversor para un sistema OFF-GRID**



**TABLA DE ESPECIFICACIONES**

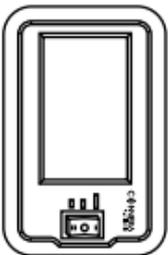
CÓDIGO	POTENCIA DE SALIDA NOMINAL (Watts)	MÁXIMA POTENCIA PICO DE ARRANQUE (Watts)	VOLTAJE DE ENTRADA VCD (RANGO VCD)	VOLTAJE DE SALIDA MONOFÁSICO (VCA)	MÁXIMA EFICIENCIA (%)	CORRIENTE DE CARGA (A)
ISOLA1500 12V/112	1500	4500	12 (10 - 16)	100 - 120 ± 5% / 220-240 ± 3%	87	0 a 70
ISOLA1500 24V/112			24 (20 - 31)			
ISOLA2000 12V/112	2000	6000	12 (10 - 16)		88	
ISOLA2000 24V/112			24 (20 - 31)			
ISOLA3000 24V/112	3000	9000	24 (20 - 31)		85	0 a 90
ISOLA3000 48V/112			48 (42 - 62)			
ISOLA4000 24V/112	4000	12000	24 (20 - 31)		86	
ISOLA4000 48V/112			48 (42 - 62)			
ISOLA5000 24V/112	5000	15000	24 (20 - 31)		88	
ISOLA5000 48V/112			48 (42 - 62)			

Fuente: Connera Isola

### Control remoto ISOLA (opcional)

El Inversor ISOLA no requiere ningún control remoto extra para su operación, pero pensando en ampliar su experiencia con el Inversor ISOLA, CONNERA pone a su disposición un control remoto con pantalla LCD que le permitirá:

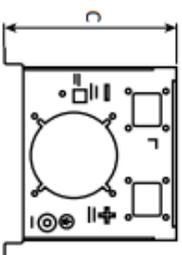
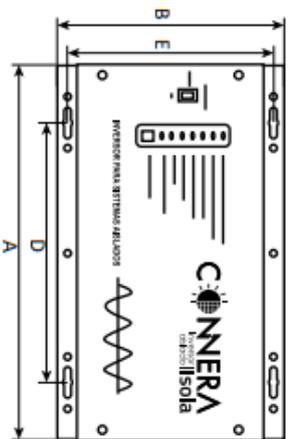
controlar el funcionamiento del equipo (encender, apagar o activar el modo de ahorro de energía), además le mostrará en la pantalla valores acerca del funcionamiento del inversor (voltaje de entrada y salida (VCA), voltaje de la(s) batería(s) (VCD), frecuencia de salida, modo de operación y estado del Inversor).



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
CTRLCD12V/ISOLA	CONTROL REMOTO 12 VCD C/PANTALLA LCD
CTRLCD24V/ISOLA	CONTROL REMOTO 24 VCD C/PANTALLA LCD
CTRLCD48V/ISOLA	CONTROL REMOTO 48 VCD C/PANTALLA LCD

### DIMENSIONES Y PESOS

CÓDIGO	DIMENSIONES EN (mm)					PESO (kg)
	A	B	C	D	E	
ISOLA1500 12V/112						20
ISOLA1500 24V/112						20
ISOLA2000 12V/112	422.3		178.9	308.5		24
ISOLA2000 24V/112						24
ISOLA3000 24V/112		221.6			202.6	35
ISOLA3000 48V/112						35
ISOLA4000 24V/112						43
ISOLA4000 48V/112	597		179.4	483.2		43
ISOLA5000 24V/112						45
ISOLA5000 48V/112						45



Fuente: Connera Isola

## DIAGRAMA ILUSTRATIVO PARA SISTEMA AISLADO



Fuente: Connera Isola

## Anexo 4: Ficha técnica inversor para un sistema ON-GRID

Características técnicas de los inversores	
Características Eléctricas	
Inversor: modelo Tauro 3000 / 8 fabricado por <a href="#">ATERSA (España)</a> .	
Sistema de aislamiento red / panel: Transformador toroidal norma UNE 60742	
Potencia Nominal (VA)	3000
Potencia pico de paneles:	4 KVA
Potencia mínima de conexión:	110 W
Consumo en vacío:	4 W a 230 V AC
Rango de tensión de entrada (Panel en vacío a 25 °C)	Máx. 170 Vdc, Min. 100 Vdc
Rango de potencia pico instalada:	1500 / 3000 W
Rango de temperatura de trabajo:	- 5 / + 40 °C
Rango de tensión de red admisible:	205 / 255 Vac
Frecuencia de trabajo:	49.8 / 50.2 Hz
Distorsión de la intensidad a 1500 VA con THD de red < 2%	< 3.5 %
Relé de potencia de estado sólido	Conexión en paso por 0
Sistema de aislamiento Red / Panel	Transformador toroidal (UNE 60742)
Humedad relativa máxima:	90% sin condensación
Rendimiento al 60% de Pn:	93%
Sistema de refrigeración:	Convección natural y ventilación forzada
Sensibilidad en PMP:	40 W
Tiempo de respuesta búsqueda PMP:	3 segundos / 3 minutos
Tiempo entre arranques:	2 minutos (aproximadamente)
Forma de onda :	Senoidal sincronizada
Protección de entrada y salida:	Con varistores
Cos $\phi$ :	Mejor del 0.98

### Conexiones de los Inversores

Fuente: TAURON PRM



Fuente: TAURON PRM

## Anexo 5: Ficha técnica medidor bidireccional

# Electronic single phase meter AS220

### Electronic single phase meter for Smart Metering Applications

New requirements dependant from legislation and EU energy saving directives are dominating the European meter market. Smart Metering stands not only for the reading of electricity meters. With this approach the frequently reading of gas and water meters is included. With the remote metering the standardization process becomes more and more important. With the adaptation of the well proven AS220 meter to the specific Smart Metering requirements, like modular communication, remote connection/disconnection, etc. the new AS220 meter match these new requirements respectively.

The meter is in accordance with the relevant DIN / IEC and MID standards.

### Features

- High accuracy and stability
- DIN or BS version available
- 4-Quadrant measurement
- 4 energy and 4 demand tariffs, independently controllable
- Measurement of active, reactive and apparent demand
- Integrated tariff clock
- Time back-up with internal battery, exchangeable battery optional
- Readout of meter data according to VDEW specification by use of the EN 62056-21
- Readout of meter data without main power
- Integrated connect / disconnect relay up to 100A
- Anti-Tampering features, like
  - main and terminal cover removal detection
  - magnetic field detection
  - reverse run detection
  - always run positive measurement
- Communication module
  - WAN communication using GSM/GPRS
  - HAN communication for gas & water meter reading using wireless M-Bus, 868MHz
- Installation support features
- Optical interface acc. EN62056-21
- Use of OBIS Identifier system (EN62056-61)
- Log file for registration of all events with time and date stamps
- Load profile for billing data
- Measuring of instantaneous values
- Power quality measurement
- Installation support features
- 1 electronic S0 output (optional)
- User friendly reading, setting and programming tool *alphaSET*



Fuente: Elster

## Technical Data

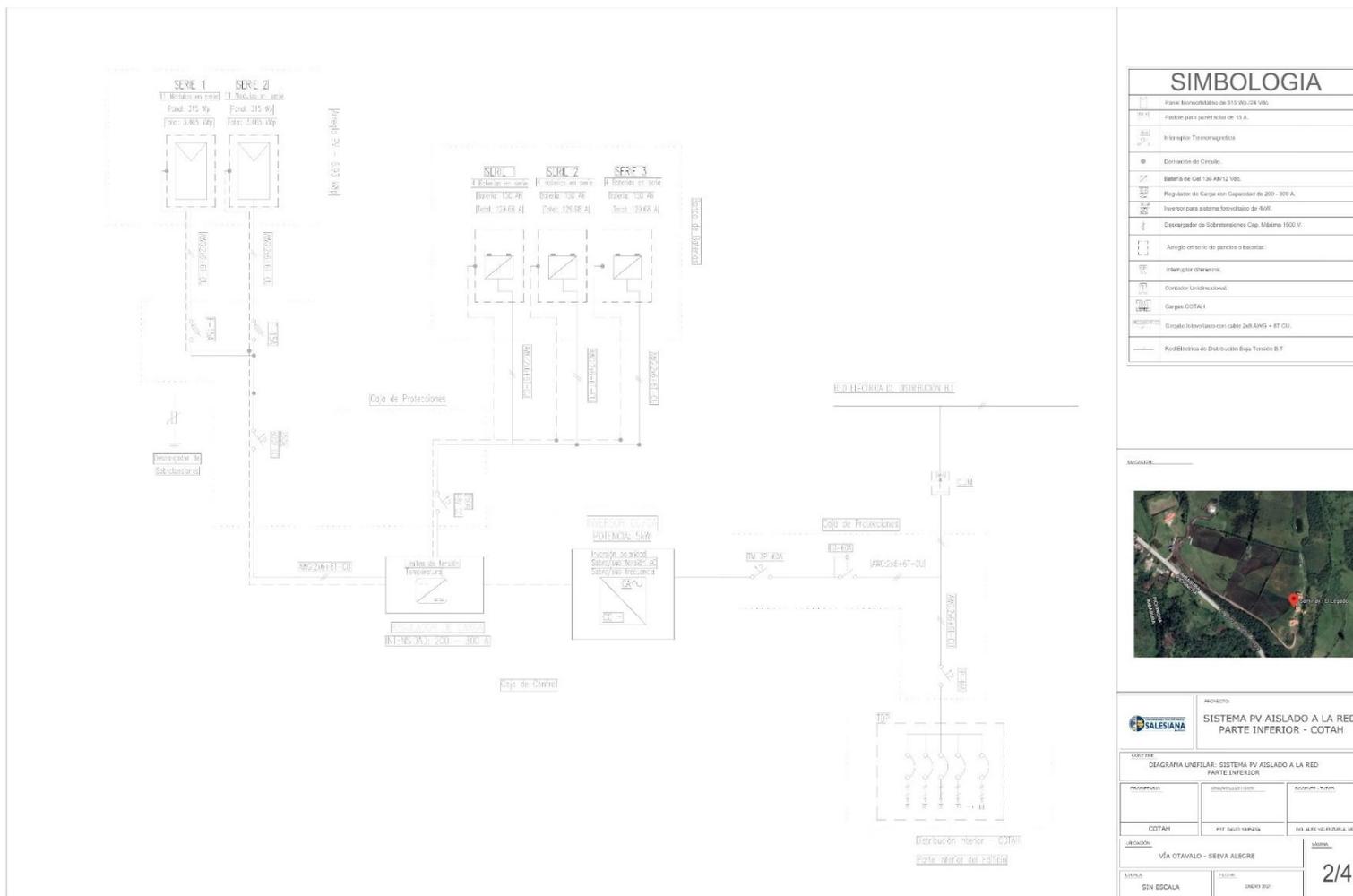
Modifications or deviations are reserved R 1.3

<b>Nominal voltage</b>	2-wire, 1 system	220 .. 240V (-20% .. 15%)
<b>Nominal frequency</b>		50 / 60Hz, +/-5%
<b>Nominal / maximum current</b>	Continuous current Short duration	DC: 5(60)A, 5(80)A, 5(100)A DC: 7000A for 2 cycles
<b>Starting current</b>		DC: < 16mA
<b>Accuracy</b>	EN 62053-21 EN 50470-1 and 3	Class 2 or 1 Class A or B acc. MID
<b>Power supply</b>	Nominal voltage	220 ... 240V (-20%..+15%)
<b>1 electronic output</b>	S0 standard	Acc. EN 62053-21
<b>Interfaces</b>	Optical interface	max 9600 Baud, EN62056-21 max. 9600 Baud, EN62056-21
<b>Comms module</b>	Electrical interface to E-meter WAN communication  LAN communication	EN 62056-21 protocol, 9600 Baud AM100 - GSM/GPRS Transparent mode, EN62056-21 DLMS/COSEM protocol Wireless M-Bus or wired M-Bus acc. EN 13757-4
<b>Internal tariff source</b>	4 tariffs 4 seasons weekday dependent tariff scheme	Acc. EN 62054-21
<b>Integrated connect/disconnect relay</b>		Up to 100A Up to 10.000 switching cycles
<b>Time backup for RTC</b>	Battery  Accuracy	> 10 years continuous operation at 25°C shelf life of 5 years < 5ppm
<b>Time backup for readout without main power</b>	Supercap Internal battery Additional exchangeable battery	0,5 days 5 years, depending on number of readouts 10 years, depending on number of readouts
<b>Temperature condition</b>	Operating temperature Storage temperature Humidity Temperature coefficient	-40°C...+70°C -40°C...+80°C 0 to 100% rel. humidity, non-condensing 0,01% per °C (PF=1 and PF=0,5)
<b>EMC compatibility</b>	Surge withstand (1,2/50µs)  Dielectric test	6kV, R <sub>RESIDUE</sub> = 20ohm 12kV, R <sub>RESIDUE</sub> = 400ohm *) 4kV, 1min, 50Hz, MID E2
<b>Power consumption</b>	Without module Including module	< 0,7W, < 8VA
<b>Connections</b>	Direct connected meter Auxiliary connections	Terminals: Ø=9,0mm Terminals: Ø=4,0mm
<b>Housing</b>	Dimensions Protection class Material	DIN 43857 part 1, BS 7856 Housing: IP54, terminal block: IP31 Polycarbonate, non-flammable, self-extinguishing synthetic material, recyclable, MID M1
<b>Weight</b>		<0,6 kg

Fuente: Elster



# Anexo 7: Diagrama unifilar caso 1 partesuperior



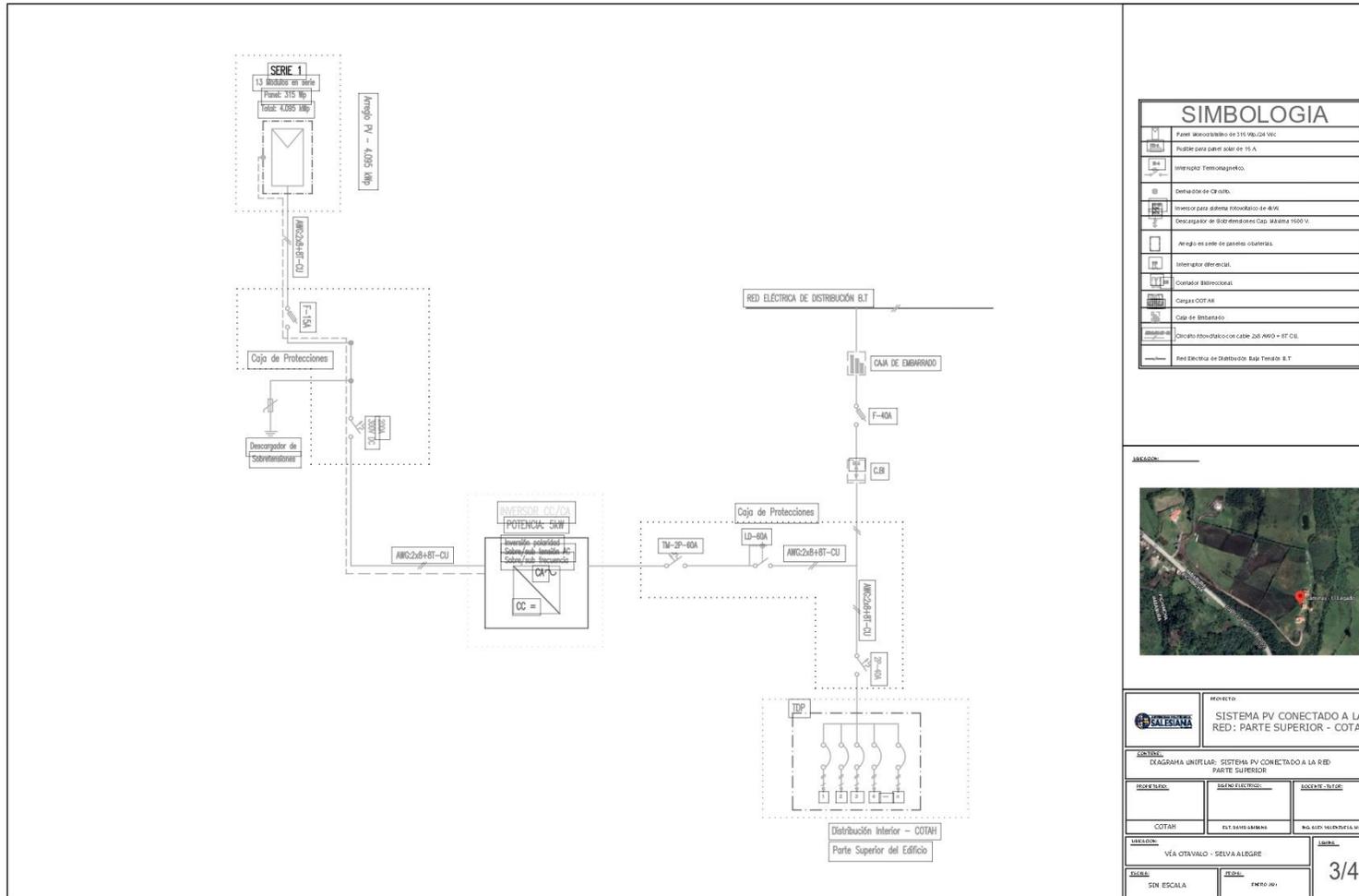
SIMBOLOGIA	
[Symbol]	Placa fotovoltaica de 315 Wp (24 Volt)
[Symbol]	Fusible para panel solar de 15 A
[Symbol]	Interruptor Termomagnético
[Symbol]	Derivación de Circuito
[Symbol]	Batería de Gel 136 Ah/12 Volt
[Symbol]	Regulador de Carga con Capacidad de 200 - 300 A
[Symbol]	Inversor para sistema fotovoltaico de 400W
[Symbol]	Descargador de Sobretensiones Cap. Máxima 1500 V
[Symbol]	Arreglo en serie de paneles o baterías
[Symbol]	Interruptor diferencial
[Symbol]	Conector Unidireccional
[Symbol]	Cargas COTAH
[Symbol]	Cable fotovoltaico con cable De AWG + BT CU
[Symbol]	Red Eléctrica de Distribución Baja Tensión B.T



		PROYECTO <b>SISTEMA PV AISLADO A LA RED:                  PARTE INFERIOR - COTAH</b>
DESCRIPCIÓN DIAGRAMA UNIFILAR: SISTEMA PV AISLADO A LA RED PARTE INFERIOR		
PROYECTANTE	DESARROLLADOR	COORDINADOR
COTAH	PIF SALESIANA	PIF SALESIANA
UBICACIÓN	VÍA OTAVILDO - SELVA ALEGRE	LEYENDA
ESCALA	SIN ESCALA	2/4



# Anexo 9: Diagrama unifilar caso 2 parte superior



SIMBOLOGIA	
	Panel fotovoltaico de 315 Wp/24 Voc
	Inversor para sistema fotovoltaico de 5kW
	Descargador de Sobretensiones Cap. 1000V
	Arreglo en serie de pastillas cobaltitas
	Interruptor diferencial
	Contador Bimetálico
	Carga COTAH
	Caja de Embarrado
	Dispositivo fotovoltaico de CA de 240 VAC - 17 CEE
	Red Eléctrica de Distribución Baja Tensión B.T.



PROYECTO	
SISTEMA PV CONECTADO A LA RED: PARTE SUPERIOR - COTAH	
CLIENTE	
EXAGRAMA UNIFILAR: SISTEMA PV CONECTADO A LA RED: PARTE SUPERIOR	
PROYECTADO:	INGENIERO ELECTRICISTA:
COTAH	EST. SANTIAGO
LUGAR:	
VIA OTAVALE - SELVA ALEGRE	
FECHA:	
SIN ESCALA	
ENCUADRE:	
3/4	



