



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL COMPLEJO HOTELERO
SERRANÍA DEL VIENTO DE BARICHARA**

Andrés Felipe López Martínez

Director: M.Sc. Edison Andrés Caicedo Peñaranda

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
2019

**SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL COMPLEJO HOTELERO
SERRANÍA DEL VIENTO DE BARICHARA**

Andrés Felipe López Martínez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Eléctrico

Director: M.Sc. Edison Andrés Caicedo Peñaranda

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
2019

DEDICATORIA

*A mi madre, por ser el faro que siempre
está alumbrando mi rumbo, sin importar la
inmensidad del océano.*

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al M.Sc. Edison Andrés Caicedo Peñaranda, por su colaboración y orientación en el trabajo de proyecto de grado.

Quiero agradecerle de forma especial a todas las personas que hicieron parte de este proceso: familiares, compañeros, docentes y amigos por sus voces de motivación y ayuda durante todo este tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
I. INTRODUCCIÓN	16
II. OBJETIVOS.....	17
A. Objetivo general	17
B. Objetivos específicos.....	17
III. MARCO TEÓRICO.....	18
A. Energía Solar Fotovoltaica	18
1) Radiación Solar.....	18
a) Irradiancia e irradiación	18
2) Efecto Fotoeléctrico.....	18
3) Elementos sistema de generación Fotovoltaica	19
a) Módulo Fotovoltaico	19
b) Baterías y Acumuladores	20
c) Etapas de Carga.....	21
d) Regulador	21
e) Inversor Fotovoltaico	22
B. Sistemas Fotovoltaicos.....	23
1) Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red	23
2) Sistemas Fotovoltaicos Aislados	23
IV. DEMANDA ENERGÉTICA DEL COMPLEJO HOTELERO SERRANÍA DEL VIENTO DE BARICHARA	24
A. Condiciones actuales del sistema	24
1) Regulación	26
V. SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL COMPLEJO HOTELERO ...	32

A) Ubicación Geográfica.....	32
B) Condiciones climáticas.....	32
C) Cálculos del sistema de generación.....	35
1) Cabaña tipo.....	35
2) Caney.....	39
3) Piscina.....	42
4) Parqueadero.....	45
5) Normatividad y comercialización.....	48
a) Sistemas de generación fotovoltaico aislado.....	52
• Cabaña Tipo.....	52
• Caney.....	53
• Piscina.....	53
• Parqueadero.....	54
b) Sistema de generación fotovoltaico conectado a la red.....	54
VI. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL COMPLEJO HOTELERO SERRANÍA DEL VIENTO DE BARICHARA.....	57
A) Selección del módulo fotovoltaico.....	57
B) Orientación e inclinación.....	58
C) Selección del inversor.....	59
D) Dimensionamiento de conductores.....	60
E) Selección de protecciones.....	62
1) Protección frente a sobretensiones.....	62
2) Protección frente a sobrecargas.....	63
3) Caja general de protecciones.....	65
F) Medidor bidireccional.....	66

G) Análisis económico	67
VII. SIMULACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS DEL COMPLEJO HOTELERO SERRANÍA DEL VIENTO.	71
A) Sistema actual.....	71
B) Sistema Actual con Porcentaje de Utilización (16%)	71
C) Sistema actual con generación fotovoltaica	74
1) Sistema con generación fotovoltaica máxima	76
2) Sistema con generación fotovoltaica media	78
D) Simulación del sistema diseñado.....	79
VIII CONCLUSIONES.....	82
REFERENCIAS	84

LISTA DE TABLAS

TABLA I. CUADRO DE CARGA CABAÑA TIPO	24
TABLA II. CUADRO DE CARGAS CANEY.....	24
TABLA III. CUARO DE CARGAS PISCINA	25
TABLA IV. CUADRO DE CARGAS PARQUEADERO	25
TABLA V. HISTÓRICO DE CONSUMO	26
TABLA VI. REGULACIÓN TRAMO 1	27
TABLA VII. REGULACIÓN TRAMO 2.....	29
TABLA VIII. REGULACIÓN TRAMO 3	29
TABLA IX. REGULACIÓN TOTAL 1	30
TABLA X. REGULACIÓN TRAMO 4	30
TABLA XI. REGULACIÓN TOTAL 2	31
TABLA XII. IRRADIACIÓN GLOBAL DIARIA MENSUAL BASE DE DATOS NASA	33
TABLA XIII. DATOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO.....	34
TABLA XIV. CABAÑA TIPO.....	35
TABLA XV. SELECCIÓN MÓDULO FOTOVOLTAICO	36
TABLA XVI. SELECCIÓN BANCO ACUMULADOR.....	37
TABLA XVII. SELECCIÓN DEL REGULADOR.....	37
TABLA XVIII. SELECCIÓN DEL INVERSOR.....	38
TABLA XIX. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO	38
TABLA XX. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTADO A LA RED.....	39
TABLA XXI. CONSUMO DEL CANEY	40
TABLA XXII. SELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	40
TABLA XXIII. SELECCIÓN DEL BANCO ACUMULADOR	41
TABLA XXIV. SELECCIÓN DEL REGULADOR	41
TABLA XXV. SELECCIÓN DEL INVERSOR	41
TABLA XXVI. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO.....	42
TABLA XXVII. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTADO A LA RED	42
TABLA XXVIII. CONSUMO PISCINA	43
TABLA XXIX. SELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	43

TABLA XXX. SELECCIÓN DEL BANCO ACUMULADOR	44
TABLA XXXI. SELECCIÓN DEL REGULADOR	44
TABLA XXXII. SELECCIÓN DEL INVERSOR	44
TABLA XXXIII. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO.....	45
TABLA XXXIV. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTAADO A LA RED.....	45
TABLA XXXV. CONSUMO PARQUEADERO	45
TABLA XXXVI. SELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	46
TABLA XXXVII. SELECCIÓN DEL BANCO ACUMULADOR DE SISTEM	46
TABLA XXXVIII. SELECCIÓN DEL REGULADOR.....	47
TABLA XXXIX. SELECCIÓN DEL INVERSOR.....	47
TABLA XL. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO	48
TABLA XLI. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTADO A LA RED.....	48
Tabla XLII. PRECIO PROMEDIO DIARIO (\$/KWh)	51
TABLA XLIII. PRECIO PROMEDIO DE ENERGÍA TRANSADA	52
TABLA XLIV. DATOS CABAÑA TIPO.....	53
TABLA XLV. DATOS CANEY	53
TABLA XLVI. DATOS PISCINA	53
TABLA XLVII. DATOS PARQUEADERO.....	54
TABLA XLVIII. DATOS MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	55
TABLA XLIX. POTENCIA DE GENERACIÓN PROMEDIO	55
TABLA L. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED.....	56
TABLA LI. PRECIO APROXIMADO VENTA DE EXCEDENTES.....	56
TABLA LII. DATOS MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	57
TABLA LIII. PÉRDIDAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	58
TABLA LIV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INVERSOR	60
TABLA LV. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR.....	62
TABLA LVI. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR	62
TABLA LVII. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DESCARGADOR	63
TABLA LVIII. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR BIDIRECCIONAL ISKRA	67
TABLA LIX. ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO ..	67

TABLA LX. POTENCIA GENERACIÓN PROMEDIO REAL	68
TABLA LXI. PRECIO APROXIMADO VENTA DE EXCEDENTES	69
TABLA LXII. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO.....	70
TABLA LXIII. DATOS DE SISTEMA	72
TABLA LXIV. IMPEDANCIAS DE LÍNEA	72
TABLA LXV. DATOS SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	74
TABLA LXVI. DATOS SIMULACIÓN POTENCIA DE GENERACIÓN MÁXIMA	77
TABLA LXVII. DATOS SIMULACIÓN POTENCIA DE GENERACIÓN MEDIA	78
TABLA LXVIII. IMPEDANCIAS DE LÍNEA.....	79
TABLA LXIX. DATOS SIMULACIÓN SISTEMA DISEÑADO	80
TABLA 70. ANÁLISIS ECONÓMICO	81
TABLA 71I. POTENCIA GENERADA	81
TABLA 72. PRECIO APROXIMADO VENTA EXCEDENTES.....	81

LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Plano complejo hotelero Serranía del Viento	27
Fig 2. Ubicación geográfica de Barichara	32
Fig 3. Irradiación global diaria mensual.....	33
Fig 4. Diagrama de trayectorias solares	34
Fig 5. Diagrama de bloques sistema fotovoltaico autónomo	38
Fig 6. Diagrama de bloques sistema fotovoltaico conectado a la red	39
Fig 7. Disponibilidad del sistema.....	49
Fig 8. Precio promedio diario (\$/KWh)	52
Fig 9. Soporte Triangulo Flex Delta.....	59
Fig 10. Inversor Copesur SPE - 2000.....	59
Fig 11. Tramos de línea.....	60
Fig 12. Descargador de sobretensiones	63
Fig 13. Fusible Bussmann SC	64
Fig 14. Portafusible Bussmann.....	64
Fig 15. Interruptor magnetotérmico ABB	65
Fig 16. Interruptor seccionador de baja voltaje.....	65
Fig 17. Caja general de protecciones ABB	66
Fig 18. Medidor Bidireccional ISKRA	66
Fig 19. Duración día solar	68
Fig 20. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.....	69
Fig 21. Sistema actual general.....	71
Fig 22. Sistema actual simplificado	73
Fig 23. Simulación sistema actual.....	73
Fig 24. Resultados simulación sistema actual.....	74
Fig 25. Simulación sistema de generación fotovoltaico.....	75
Fig 26. Sincronización del sistema.....	75
Fig 27. Sistema actual con generación fotovoltaica.....	76
Fig 28. Resultados simulación sistema con generación fotovoltaica máxima	77

Fig 29. Resultados simulación sistema con generación fotovoltaica media78

Fig 30. Resultados simulación sistema diseñado80

RESUMEN

En el presente documento presenta un diseño ingenieril para un sistema de generación fotovoltaica localizado en el complejo hotelero Serranía del Viento del municipio de Barichara, centrados en el cálculo la demanda energética, la rentabilidad del sistema de generación, el cálculo de la capacidad de los componentes eléctricos, presentados detalladamente en el diseño y verificado mediante simulación de las redes eléctricas con el sistema de generación fotovoltaico.

Palabras clave: Generación fotovoltaica, generación distribuida, Autogeneradores a pequeña escala, Sistema fotovoltaico conectado a la red, Energías renovables.

ABSTRACT

This document presents an engineering design for a photovoltaic generation system located in the Serranía del Viento hotel complex in the municipality of Barichara, focused on the calculation of energy demand, the profitability of the generation system, the calculation of the capacity of the components electrical, presented in detail in the design and verified by simulation of the electrical networks with the photovoltaic generation system.

Keywords: Photovoltaic generation, distributed generation, Small scale autogenerators, Photovoltaic system connected to the grid, Renewable energies.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, es evidente la degradación del medio ambiente debido a prácticas poco amigables con el entorno. Desde siempre, el ser humano ha tomado toda clase de recursos naturales sin importar las consecuencias, pero hoy en día se ha alcanzado una evolución tecnológica que permite contemplar el uso de nuevas fuentes de energía no convencionales y amigables con el medio ambiente y que no incluyan los combustibles fósiles. [9]

En los últimos años la evolución del sector eléctrico ha sido exponencial, y con esto han surgido nuevas formas de obtención limpia de energía, como es el caso de la energía solar.

El sol es una fuente de energía renovable presente en casi que en todo el planeta tierra y el ser humano ha podido canalizar en pequeña proporción esta energía para su aprovechamiento. [10]

Colombia participó del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático a partir del cual se creó la Ley 629 del 2000 que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de lo cual las energías renovables se convirtieron en la mejor estrategia para que Colombia pueda cumplir con este reto. Desde entonces la normativa sobre FNCER (Fuentes No Convencionales de Energías Renovables) ha crecido y con ella las nuevas prácticas de generación de energía.

Adicionalmente, en Colombia se incluye el término de “*generación distribuida*” que consiste en la vinculación de particulares al sistema de transmisión nacional como pequeños generadores de energía proveniente de fuentes de energía alternativa, limpia y no convencional. Además, se busca una provisión energética eficiente en zonas no interconectadas del territorio nacional.

En la actualidad se conocen dos modelos para la implementación de fuentes de energía fotovoltaica: Sistemas autónomos y sistemas conectados a la red; la diferencia radica en el uso o no de bancos acumuladores de energía. La energía solar aprovecha la radiación electromagnética proveniente del sol que es captada por módulos fotovoltaicos que se encargan de convertir esta energía en energía eléctrica. Para esto se emplean dispositivos adicionales como bancos de baterías que permiten el almacenamiento controlado, reguladores de energía que controlan los procesos de carga y descarga de los acumuladores, inversores que transforman la corriente directa a corriente alterna, adicionalmente los sistemas cuentan con sus propias protecciones.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar un sistema de generación solar fotovoltaico para el complejo hotelero serranía del viento ubicado en el municipio de Barichara.

B. Objetivos específicos

- Calcular la demanda energética del complejo hotelero serranía del viento de Barichara.
- Determinar las características ingenieriles que hagan factible el sistema de generación fotovoltaico acorde a la ubicación del complejo hotelero.
- Calcular la capacidad de los componentes eléctricos del sistema de generación solar fotovoltaico para el complejo hotelero serranía del viento de Barichara.
- Diseñar las redes eléctricas y componentes del sistema de generación solar fotovoltaico para el complejo hotelero serranía del viento de Barichara.

III. MARCO TEÓRICO

A. *Energía Solar Fotovoltaica*

La energía solar fotovoltaica es la energía emitida por el sol, la cual puede convertirse en energía eléctrica, mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos conectados entre sí, formando una superficie plana que tiene que ser expuesta a la luz del sol. La inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos son fundamentales para obtener una conversión eficiente de energía solar a energía eléctrica. [1]

1) *Radiación Solar*

El sol produce energía mediante reacciones nucleares de fusión, la cual se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre en forma de un conjunto de radiaciones o espectro electromagnético. [1]

a) *Irradiancia e irradiación*

Para cuantificar la radiación solar se usan magnitudes que corresponden a la potencia y la energía de la radiación que llegan por unidad de superficie:

- Irradiancia: Potencia incidente por unidad de superficie.
- Irradiación: Cantidad de energía solar recibida durante un determinado periodo de tiempo. [1]

2) *Efecto Fotoeléctrico*

El efecto fotoeléctrico ocurre cuando las partículas de luz conocidas como fotones inciden con los electrones de un metal, arrancando sus átomos. El electrón que ha sido movido produce una corriente eléctrica durante su viaje hasta otro átomo. [2]

Los materiales utilizados en la fabricación de células fotovoltaicas son los semiconductores. La principal propiedad de este tipo de materiales es que la energía necesaria para separar a ciertos electrones de su núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar. El material semiconductor más usado es el Silicio. [3]

Para mejorar la conductividad de los semiconductores se usan impurezas añadidas voluntariamente, este proceso se conoce como dopado que pueden ser impurezas pentavalentes

(elementos con cinco electrones de valencia en su órbita externa) e impurezas trivalentes (elementos con tres electrones de valencia en su órbita externa). [1]

La creación de zonas con distintos tipos de dopado en un mismo cristal da lugar a lo que se conoce como uniones p-n, entre ambas zonas se establece un campo eléctrico que evita el movimiento de electrones de una zona a otra, al incidir la radiación solar la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona n la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona p; ese electrón sólo podrá volver a su zona por el circuito exterior al que se conecta la célula generando una corriente eléctrica.

Los contactos eléctricos que se ubican en ambas caras de la célula fotovoltaica cumplen la función de acaparar esa corriente eléctrica. La cara que no recibe luz solar se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta al sol sólo se cubre parcialmente mediante una rejilla metálica. Esto permite recoger de forma eficiente los electrones generados en el interior de la célula, además de permitir que los rayos solares alcancen un porcentaje alto del área del material semiconductor. [3]

La célula fotovoltaica eléctricamente se comporta como un diodo, que al estar expuesto a la radiación solar se comporta como una fuente de corriente. [2]

La intensidad de la corriente de cortocircuito oscila de manera proporcional al variar la intensidad de la radiación, en correlación con el área captadora. La temperatura presenta una relación de proporcionalidad con el voltaje presente en vacío, disminuyendo el voltaje al incrementar la temperatura. [2]

3) Elementos sistema de generación Fotovoltaica

a) Módulo Fotovoltaico

- ***Cubierta exterior:*** Al estar expuestas a la acción de agentes climatológicos adversos, las células se protegen con una cubierta delantera transparente. Lo que más se utiliza es el vidrio templado con bajo contenido en hierro, que tiene ventajas respecto a otros materiales, ya que ofrece una buena protección contra impactos y a la vez tiene excelente transmisión a la radiación solar. [3]
- ***Encapsulante:*** El encapsulante proporciona cohesión al conjunto al rellenar el volumen que existe entre las cubiertas; además amortigua las vibraciones e impactos que se pueden producir.

Pero su misión principal es la de proteger las células solares y los contactos eléctricos de la humedad. [3]

- **Cubierta Posterior:** Se encarga de proteger contra los agentes atmosféricos. Puede ser cristal, pero normalmente suelen utilizarse materiales acrílicos o siliconas. [3]

- **Marco:** El marco es el encargado de proteger de golpes laterales, proporcionando rigidez mecánica al conjunto y lo hace manejable, facilitando la instalación del módulo y favorece el montaje en estructuras que agrupan a varios módulos. [3]

- **Contactos eléctricos de salida:** Los contactos eléctricos permiten evacuar la energía eléctrica producida por el conjunto de células. [3]

- **Diodos:** Los diodos tienen como finalidad proteger el módulo solar fotovoltaico de efectos negativos producidos por sombras parciales sobre su superficie. (Efecto sombra). [3]

b) Baterías y Acumuladores

Las baterías y acumuladores son dispositivos electroquímicos con capacidad de transformar la energía potencial en energía eléctrica. Principalmente hay dos tipos: Ácido (de plomo ácido, Pb-Sb, Pb-Ca) y Alcalino (Níquel-cadmio). [2]

- **Capacidad:** La capacidad de una celda es la cantidad total de energía transmitida por medio de la intercara metal – electrólito en la reacción electroquímica, es decir es la intensidad de corriente que puede suministrar la batería en un tiempo estipulado. [1]

- **Profundidad de descarga:** La profundidad de descarga hace referencia al porcentaje sobre la capacidad máxima del acumulador, este valor varía según el tipo de acumulador, condiciones de uso y demás. Según este parámetro las baterías pueden clasificarse en baterías descarga profunda (20-25% de descarga media, hasta 80%) y baterías de descarga superficial (10-15% de descarga media, hasta 40%). Se recomienda no llegar a los límites de descarga del acumulador debido a que puede influir en el tiempo de vida útil del dispositivo. [2]

c) Etapas de Carga

- ***Etapas de Carga Bulk:*** En esta etapa, el regulador permite el paso máximo de corriente hacia el acumulador hasta llegar el valor de tensión de absorción equivalente al 80% - 90%. [2]
- ***Etapas de Carga Absorción:*** En esta etapa la corriente de carga se reduce hasta que la batería se carga al 100%. [2]
- ***Etapas de Carga Flotación:*** En esta etapa se proporciona la corriente necesaria para compensar la autodescarga, permaneciendo así un nivel de carga del 100%. [2]
- ***Etapas de Carga Ecuilibración:*** Esta etapa tiene como objetivo el ascenso del gas dentro del electrolito obteniendo así una disolución homogénea. [2]

d) Regulador

El regulador es el dispositivo encargado del control del proceso de carga y descarga del banco acumulador, teniendo como funciones proteger las baterías contra sobrecargas, descargas profundas, descargas nocturnas hacia el módulo fotovoltaico. [1]

- ***Regulador serie:*** El control de carga de la batería se realiza interrumpiendo la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería por medio de un relé de estado sólido. [1]
- ***Regulador paralelo:*** El control de carga de la batería se realiza cortocircuitando la entrada del generador fotovoltaico por medio de un relé de estado sólido. Este regulador tiene como ventajas la economía y un menor autoconsumo, adicionalmente puede operar sin batería actuando como limitador de voltaje. [1]
- ***Regulador todo – nada:*** Este tipo de regular efectúa la carga de las baterías conectando y desconectando el circuito entre el generador fotovoltaico y la batería para diferentes valores de tensión. [1]

- **Regulador con seguimiento de máxima potencia (MPPT):** Este tipo de reguladores incorpora un convertidor DC/AC a la salida de los módulos fotovoltaicos, con lo cual se logra aislar la tensión de trabajo de los módulos del voltaje de las baterías; este regulador consigue la máxima potencia del módulo compensando tensión por intensidad. [2]

e) Inversor Fotovoltaico

Es un dispositivo que tiene la capacidad de convertir la corriente continua producida por los módulos fotovoltaicos a corriente alterna, pero con parámetros adecuados de frecuencia y voltaje. [1]

- **Rendimiento:** El rendimiento es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor, siendo así un indicador de las pérdidas que depende del régimen de carga del banco acumulador. [1]

- **Corriente alterna generada:** Corriente alterna sinusoidal pura de frecuencia con margen de $\pm 2\%$ y tensión eficaz con un margen de -15% y $+10\%$. [1]

- **Capacidad de sobrecarga:** Es la capacidad propia de los inversores de soportar durante un pequeño instante de tiempo potencias superiores a la nominal. [2]

- **Arranque automático y estado de espera:** Permite que las partes de potencia del convertidos se desconecten en ausencia de consumo y se reconecte cuando se presente una demanda de energía. [2]

- **Baja distorsión armónica:** Parámetro relacionado con la calidad de la onda generada, en donde la variación de la frecuencia de salida es menor al 5% para cargas lineales, desde el 20% al 100% de la nominal. [2]

B. Sistemas Fotovoltaicos

1) Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser insertada al sistema, el cual está compuesto por un generador fotovoltaico, un inversor y un conjunto de protecciones eléctricas propias. [4]

La señal de potencia suministrada por un generador fotovoltaico es de corriente continua, que debe ser acondicionada para permitir el correcto acoplamiento a la red eléctrica. El inversor DC/AC, realiza la conversión de continua a alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente, eficiencia y rendimiento, seguridad eléctrica, etc. [4]

El funcionamiento del sistema solar se realiza de forma completamente automática, los dispositivos de control del sistema miden la potencia disponible en el generador fotovoltaico, de donde alcanzado el nivel mínimo de funcionamiento, el convertidor inicia y comienza la generación de corriente. Al anochecer, cuando se detecta un nivel de potencia del generador inferior al mínimo de funcionamiento del convertidor, el sistema toma la energía necesaria de la red eléctrica. [3]

2) Sistemas Fotovoltaicos Aislados

La característica principal de un sistema fotovoltaico aislado es la presencia del banco acumulador, cuyo papel es el almacenamiento de la energía captada por los módulos fotovoltaicos. Además del acumulador, en una instalación fotovoltaica aislada intervienen varios elementos. [3]

El módulo fotovoltaico recibe la radiación solar y genera electricidad en corriente continua, la cual es suministrada al acumulador, a través del regulador de carga que proporciona el control necesario. El convertidor, rescata la energía del acumulador y la convierte en corriente alterna. Además, se resalta la presencia de protecciones eléctricas. [3]

Un sistema fotovoltaico de bombeo es una aplicación común de estos sistemas donde se emplea un generador fotovoltaico para alimentar una motobomba y extraer agua de un pozo, almacenarla en un depósito o transportarla de un lugar a otro. En esta aplicación es necesario emplear acumuladores electroquímicos para almacenar energía y dotar de autonomía al sistema. [4]

IV. DEMANDA ENERGÉTICA DEL COMPLEJO HOTELERO SERRANÍA DEL VIENTO DE BARICHARA

A. Condiciones actuales del sistema

El complejo hotelero Serranía del viento está conectado a transformador monofásico de 10KV-6300/220 a una distancia aproximada de 340 m, conectada con un conductor 1/0 AWG ACSR TRIPLEX, el sistema es un arreglo bifásico trifilar. El complejo hotelero cuenta con siete (7) cabañas tipo, una zona de recreación con piscina, una zona social principal denominada Caney y un parqueadero. A continuación, se muestra los cuadros de carga de cada uno de los espacios descritos anteriormente.

TABLA I. CUADRO DE CARGA CABAÑA TIPO

CABAÑA TIPO				
	LUCES	TOMA CORRIENTE	VENTILADOR	TV
CANTIDAD	3	2	1	1
POTENCIA (W)	12	162	50	150
POTENCIA (W)	36	324	50	150
POTENCIA TOTAL (W)		560		
USO DIARIO (h)	3	3	5	3
CONSUMO (Kwh/día)		1,78		

La tabla I presenta cada una las cargas presentes en esta área, así mismo se evidencia una proyección promedio del uso horario de cada una de las cargas, obteniendo así un consumo diario de 1,78 KWh. Es decir que el consumo diario de las siete (7) cabañas sería un valor aproximado de 12,46 KWh.

TABLA II. CUADRO DE CARGAS CANEY

CANEY							
	LUCES	TOMA CORRIENTE	TV	NEVERA	MICRO	LAVADORA	REFLECTOR
CANTIDAD	15	10	2	1	1	1	3
POTENCIA (W)	12	162	150	500	700	900	40
POTENCIA (W)	180	1620	300	500	700	900	120
POTENCIA TOTAL (W)				4320			
USO DIARIO (h)	5	3	4	6	1	4	6
Consumo (Kwh/día)				14,98			

La tabla II presenta un aumento considerable de la potencia y el consumo diario, en correlación con las cabañas tipo. Así mismo se puede evidenciar que en esta área se encuentra la cocina y la

zona de lavado, lo cual conlleva cargas motoras, estas cargas se dispondrán más adelante para el estudio de regulación.

TABLA III. CUARO DE CARGAS PISCINA

PISCINA				
	LUCES	TOMA CORRIENTE	REFLECTOR	HIDROBOMBA
CANTIDAD	2	2	1	1
POTENCIA (W)	12	162	40	1490
POTENCIA (W)	24	324	40	1490
POTENCIA TOTAL (W)	1878			
USO DIARIO (h)	2	3	6	1
CONSUMO (Kwh/día)	2,75			

La tabla III presenta el cuadro de cargas de la piscina, la cual cuenta con una carga 1490w correspondiente a una Hidrobomba, la cual tiene un promedio de uso mínimo diario de una (1) hora, también se observa el consumo de un reflector con una duración estimada de seis (6) horas en horarios nocturnos.

TABLA IV. CUADRO DE CARGAS PARQUEADERO

PARQUEADERO			
	LUCES	TOMA CORRIENTE	REFLECTOR
CANTIDAD	1	1	1
POTENCIA (W)	12	162	40
POTENCIA (W)	12	162	40
POTENCIA TOTAL (W)	214		
USO DIARIO (h)	3	1	6
CONSUMO (Kwh/día)	0,438		

La tabla IV presenta el consumo diario promedio es bajo en relación a las demás zonas del complejo.

De las anteriores tablas se puede concluir que la potencia total instalada en el complejo hotelero es aproximadamente 10332 W.

La tabla V presenta el histórico de consumo promedio proporcionado por el operador de red Electrificadora de Santander (ESSA) en los últimos 7 meses corresponde a un valor promedio de 372,286 KWh. De igual manera se evidencia que los últimos dos meses facturados el aumento del

consumo es considerable en relación a los demás, esto debido a las temporadas de año en donde se presenta mayor número de huéspedes en el complejo.

TABLA V. HISTÓRICO DE CONSUMO

HISTÓRICO DE CONSUMO	
MES	CONSUMO(KW/h)
13 Oct - 13 Nov	299
13 Nov - 13 Dic	275
13 Dic - 13 Ene	398
13 Ene - 13 Feb	348
13 Feb - 13 Mar	371
13 Mar - 13 Abril	417
13 Abril - 13 Mayo	498
Promedio(Kw/h)	372,286
Valor Kw/h(\$)	534,7823
Valor (\$)	266322
Valor Alum. Público(\$)	13316,07927
Subsidio	10519,70262
Valor Total (\$)	269117,96

Según la información presentada en la tabla V se puede observar que el mayor consumo mensual esta dado para los meses (abril – mayo) con un consumo censado igual a 498 KW/h, de donde el consumo diario (1 día) es 16,6KW/h y el consumo horario suponiendo una demanda diaria de 10 horas es igual 1,6KW; de donde se tiene que el porcentaje aproximado de utilización de la carga total instalada (10332W/h) en relación con el consumo horario (1,6KW) es igual a 16,067%.

1) Regulación

A continuación, se presenta el estudio de regulación actual del complejo hotelero Serranía del viento, este se llevará a cabo por el método de tramo a tramo hasta llegar al punto más lejano, debido a la distribución del complejo se realizan dos análisis, el primer estudio comprende el trayecto dado por los tramos 1, 2 y 3 presentados en la gráfica1 y el segundo estudio comprende el trayecto dado por los tramos 1, 2 y 4. Las regulaciones finales de cada camino serán igual a la suma de las regulaciones parciales o tramo a tramo dispuesta anteriormente.

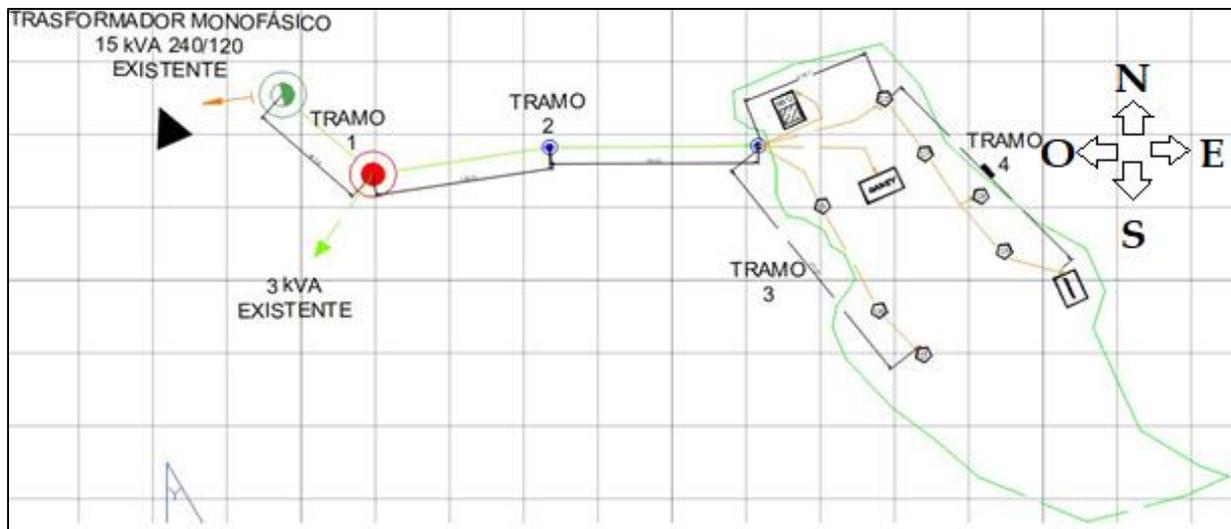


Fig 1. Plano complejo hotelero Serranía del Viento

Fuente: Autor utilizando el software AutoCAD

En la figura 1, se presenta el plano correspondiente al complejo hotelero Serranía del Viento, y la división por tramos para efectuar los correspondientes análisis de regulación, destacando una distribución compartida en el tramo 1 del complejo hotelero y una granja avícola con una carga eléctrica existente significativa aproximada de 3 KVA, así mismo se puede observar que el tramo 1 tiene una longitud de 81,78 metros.

TABLA VI. REGULACIÓN TRAMO 1

REGULACIÓN TRAMO 1	
Estrato	3
Fp	0,90
Dmax div (KVA)	9,625
Dmax div [proyectada a 15 años] (KVA)	9,771
Conductor	1/0 AWG ACSR TRIPLEX
Kg	73,020
Fc	2
L(m)	81,780
M	787,142
% Regulación	1,996

En la tabla VI se presentan los cálculos de regulación del tramo 1 que corresponde una distancia aproximada de 81,78 metros dada desde el transformador hasta el nodo de conexión de la granja avícola aledaña y el complejo hotelero Serranía del Viento.

Para el cálculo de la demanda máxima diversificada se empleó la ecuación 1, la cual está dispuesta en la sección 220 y 225 de la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), en donde esta puede variar según el estrato y la ubicación del lugar a analizar.

$$D_{max\ div} = \left[\frac{1200 + (P - 1200)(0,3) + P_{motores}}{(Fp)(1000)} \right] + P_{granja} \quad (1)$$

Para el presente caso el complejo hotelero Serranía del Viento tiene un estrato socioeconómico número 3, y para efectos de cálculos se tomó un factor de potencia igual a 0,9. Adicionalmente se agrega la potencia que demanda la granja avícola aledaña debido a que el tramo 1 hace referencia a la suma de las potencias instaladas en este tramo del circuito.

Para calcular el porcentaje de regulación se utiliza la siguiente formula, la cual está dispuesta en la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) e igualmente en la norma vigente del operador de red.

$$\%Regulación = \frac{(Kg)(Fc)(M)}{V_L^2} \quad (2)$$

De donde la constante de regulación (Kg) está dada por la norma del operador de red (Norma ESSA-tabla 3.22) según el tipo de conductor, para nuestro caso el conductor es 1/0 AWG Aluminio Aislado al cual corresponde un valor de 73,02.

El factor de corrección (Fc) está dado según el tipo de conexión del sistema, el cual para este caso un sistema monofásico trifilar (FFN) de donde su valor respectivo está dado por el operador de red (Norma ESSA-tabla 3.26) en donde el valor de corrección es de 2.

El momento (M) está dado por la ecuación 3.

$$M = (L)(D_{max\ div}) \quad (3)$$

De donde la longitud (L) hace referencia a la distancia del tramo a evaluar (Tramo 1).

En la tabla VII, se aplica el mismo procedimiento para el cálculo de la regulación, pero para este caso la demanda máxima diversificada está dada por la ecuación 4.

TABLA VII. REGULACIÓN TRAMO 2

REGULACIÓN TRAMO 2	
Estrato	3
Fp	0,90
Dmax div (KVA)	6,625
Dmax div [proyectada a 15 años] (KVA)	6,725
Conductor	1/0 AWG ACSR TRIPLEX
Kg	73,020
Fc	2
L(m)	260,760
M	1727,564
%Regulación	4,380

$$D_{max\ div} = \left[\frac{1200 + (P - 1200)(0,3) + P_{motores}}{(Fp)(1000)} \right] \quad (4)$$

En la expresión anterior se evidencia la resta de la carga correspondiente a la granja avícola esto debido a que estamos evaluando la carga total demandada en el tramo 2, la cual corresponde únicamente a la carga del complejo hotelero Serranía del Viento con un valor igual a 6,625 KVA.

TABLA VIII. REGULACIÓN TRAMO 3

REGULACIÓN TRAMO 3	
Estrato	3
Fp	0,90
Dmax div (KVA)	1,493
Dmax div [proyectada a 15 años] (KVA)	1,516
Conductor	10 AWG THHN COBRE
Kg	337,154
Fc	2
L(m)	173,550
M	259,168
%Regulación	3,034

La tabla VIII presenta los cálculos de regulación del tramo 3 el cual comprende una distancia aproximada de 173,550 metros comprendida desde el tablero de distribución hasta la cabaña más alejada de este circuito (Cabaña 7). De igual manera se evidencia que el conductor es de cobre aislado en ducto no metálico 10 AWG, en donde su constante de regulación (Kg) es igual a 337,154 según (Norma ESSA-tabla 3.25).

Para el cálculo de regulación del tramo 3 se tuvo en cuenta la carga total demanda de este circuito que es la correspondiente a 3 cabañas tipo con un valor de 1680 W, en donde la demanda máxima diversificada está dada por la fórmula 4, cabe resaltar que este tramo no existe ninguna carga motora por lo cual $P_{motores}$ es igual a cero.

A continuación, se presenta el primer estudio de regulación que contempla la suma de los porcentajes de la regulación de los tramos 1, 2 y 3.

TABLA IX. REGULACIÓN TOTAL 1

% REGULACIÓN TRAMO 1, 2 y 3
9,410

Según la norma del operador de red (Norma ESSA) el porcentaje de regulación para zonas rurales en baja voltaje no debe ser mayor al 7%. Para este primer análisis se evidencia que la regulación está sobre los límites permitidos ya que su valor es del 9,410% es decir el valor de voltaje en la cabaña siete (7) es aproximadamente 108,7 V, lo cual representa una disminución de voltaje aproximada de 11,3V.

TABLA X. REGULACIÓN TRAMO 4

REGULACIÓN TRAMO 4	
Estrato	3
Fp	0,90
Dmax div (KVA)	1,751
Dmax div [proyectada a 15 años] (KVA)	1,778
Conductor	10 AWG THHN COBRE
Kg	337,154
Fc	2
L (m)	252,700
M	442,562
%Regulación	5,181

La tabla X presenta los cálculos de regulación del tramo 4 el cual comprende una distancia aproximada de 252,7 metros comprendida desde el tablero de distribución hasta el parqueadero. De igual manera se evidencia que el conductor es de cobre aislado en ducto no metálico 10 AWG, en donde su constante de regulación (Kg) es igual a 337,154 según (Norma ESSA-tabla 3.25).

Para el cálculo de regulación del tramo 4 se tuvo en cuenta la carga total demanda de este circuito que es la correspondiente a 4 tipo cabañas y el parqueadero con un valor aproximado de 2454 W, en donde la demanda máxima diversificada está dada por la fórmula 4, cabe resaltar que este tramo tampoco existe cargas motoras por lo cual $P_{motores}$ es igual a cero.

A continuación, se presenta el segundo estudio de regulación que contempla la suma de los porcentajes de la regulación de los tramos 1, 2 y 4.

TABLA XI. REGULACIÓN TOTAL 2

%REGULACIÓN TRAMOS 1, 2 y 4
11,557

Para el segundo estudio se observa que la suma de las regulaciones de los tramos 1, 2 y 4 es bastante mayor que la del primer análisis, es decir no cumple la norma del operador de red (Norma ESSA). Para este segundo análisis se evidencia que la regulación está sobre los límites permitidos ya que su valor es del 11,557% es decir el valor de voltaje en el parqueadero es aproximadamente 106,1 V; lo cual representa una disminución de voltaje aproximada de 13,9V.

Con este análisis se puede concluir que el complejo hotelero Serranía del Viento presenta deficiencia en la calidad de la energía, ya que los porcentajes de regulación está sobre los límites permitidos, presentando problemas en la calidad de la energía relacionados con el decremento en la onda de tensión influyendo esto en el mal funcionamiento de los dispositivos e incluso la disminución de su vida útil.

V. SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA EL COMPLEJO HOTELERO

A) *Ubicación Geográfica*

El complejo hotelero Serranía del viento está ubicado en la zona rural del municipio de Barichara, en el departamento de Santander. El complejo hotelero serranía del viento cuenta con un terreno de 2 hectáreas, de las cuales están construidos 400 m^2 distribuidos en cabañas y zonas sociales, las coordenadas aproximadas del complejo hotelero Serranía del Viento son $6^{\circ}37'17.3''$ Norte, $73^{\circ}13'29.0$ Oeste, y una altura media de 1336 metros sobre el nivel del mar.



Fig 2. Ubicación geográfica de Barichara

Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Barichara#/media/File:Colombia_-_Santander_-_Barichara.svg

B) *Condiciones climáticas*

Las condiciones climáticas del complejo hotelero están dadas por su ubicación geográfica, Barichara cuenta con una irradiancia anual promedio de $4,94\text{ KW/m}^2\text{ día}$ y una temperatura promedio de $21,6^{\circ}\text{C}$, para el presente estudio se tomarán las condiciones de irradiancia más baja con el fin de proyectar el dimensionamiento con el peor de los casos, garantizando el funcionamiento del sistema en todas las temporadas del año.

TABLA XII. IRRADIACIÓN GLOBAL DIARIA MENSUAL BASE DE DATOS NASA

IRRADIACIÓN GLOBAL PROMEDIO DIARIA MENSUAL

Mes	Irradiación(KWh/m2día)
Enero	4,94
Febrero	5,21
Marzo	5,28
Abril	4,58
Mayo	4,87
Junio	5,06
Julio	5,03
Agosto	5,11
Septiembre	5,23
Octubre	4,92
Noviembre	4,44
Diciembre	4,63

La tabla XII presenta el registro de irradiación global diaria mensual dispuesto según la posición geográfica del complejo hotelero Serranía del Viento proporcionado por el software PVsyst que obtiene su información de la NASA-SEE (Surface Meteorological and Solar Energy Programme). A continuación, se muestra la representación gráfica a partir de los datos anteriores.

Con los valores de irradiación presentados anteriormente se puede inferir que las condiciones climáticas del lugar son óptimas para la implementación de un sistema solar fotovoltaico ya que el promedio de energía incidente mensual diaria anual por metro cuadrado es aproximadamente 4,94 KWh.

A continuación, la figura 3 presenta un análisis gráfico de los datos expuestos en la tabla XII.

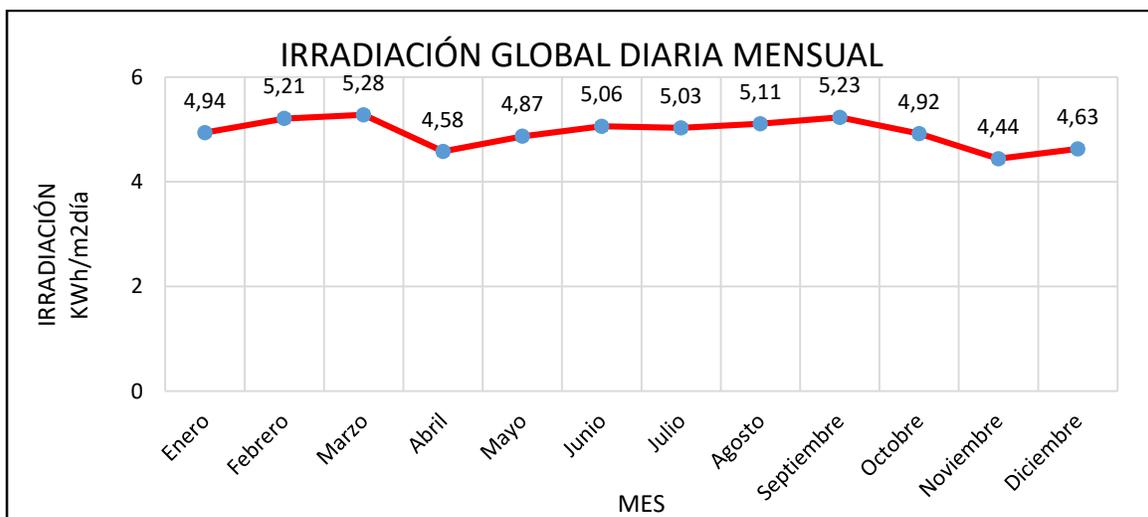


Fig 3. Irradiación global diaria mensual

Fuente: Autor utilizando el software Excel

La figura 3 presenta cada uno de los meses del año y su respectiva irradiación, en donde el mes de noviembre presenta el valor de $4,44 \text{ KWh/m}^2 \text{ día}$, siendo así el mes con irradiación más baja.

La figura 4 presenta las trayectorias solares según la ubicación geográfica del complejo hotelero Serranía del Viento.

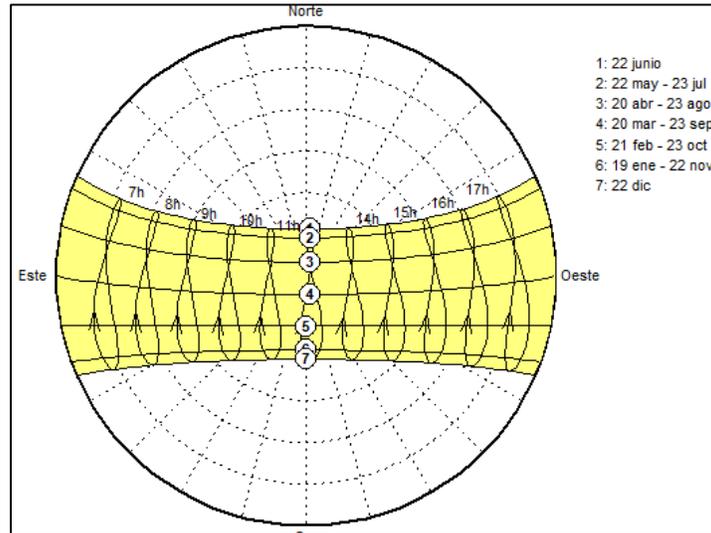


Fig 4. Diagrama de trayectorias solares

Fuente: Autor utilizando el software PVsyst

La figura 4 presenta las trayectorias solares dispuestas según las coordenadas geográficas del sitio en estudio, las cuales en todo el año tienen mismo trayecto que va de Este a Oeste, de donde se puede deducir un ángulo acimut óptimo de 90° para la ubicación de celdas fotovoltaicas; de donde se puede concluir que al orientar las células solares con este ángulo acimut el aumento de captación de irradiación diaria por hora aumenta debido a una mayor incidencia sobre metro cuadrado hora. La tabla XIII sintetiza la información anteriormente planteada.

TABLA XIII. DATOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO

DATOS DEL SISTEMA	
Acimut($^\circ$)	90
Latitud ϕ ($^\circ$)	6,6456
Longitud	-73,2339
G_{dm} ($\text{KWh/m}^2 \text{ día}$)	4,44
B($^\circ$)	10
B $_{opt}$ ($^\circ$)	8,2855
K	1,0120
FI	0,9997
$G_{dm_{opt}}$ ($\text{Kwh/m}^2 \text{ día}$)	4,4918

La tabla XIII presenta los datos propios del sistema en donde se aplican unos índices de corrección para reducir posibles pérdidas, es por esto que se aplica un factor de corrección, como se muestra a continuación 5.

$$B_{opt} = 3,7 + 0,69(\phi) \quad (5)$$

De donde se obtiene un ángulo de elevación solar B_{opt} de $8,2855^\circ$. Posteriormente se aplica un factor de corrección K , como se muestra en la ecuación 6.

$$K = \frac{1}{1 - (4,46 \times 10^{-4})(B_{opt}) - (1,19 \times 10^{-4})(B_{opt}^2)} \quad (6)$$

De igual forma se deben considerar las pérdidas debido a la orientación e inclinación no óptimas, para esto se aplica un coeficiente de reducción de energía, denominado factor de irradiación, como se muestra en la ecuación 7.

$$FI = 1 - [(1,12 \times 10^{-4})(B - B_{opt})^2] \quad (7)$$

De donde el valor medio de irradiación anual global diaria sobre la superficie inclinada está dado por la ecuación 8.

$$Gdm_{opt} = (FI)(K)(Gdm) \quad (8)$$

C) Cálculos del sistema de generación

A continuación, se presenta un estudio ingenieril detallado, para esto se procederá a analizar el complejo hotelero Serranía del Viento por demanda energética de construcción tipo y posteriormente con la totalidad.

1) Cabaña tipo

En la tabla XIV se presenta el consumo total aproximado diario que demanda cada cabaña tipo

TABLA XIV. CABAÑA TIPO

CONSUMO CABAÑA TIPO

Wd(KWh/día)	1,78
Pins(W)	560
Pg req(W)	660,4581

Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente en la tabla XIV, se procede a la selección de módulos fotovoltaicos comerciales.

TABLA XV. SELECCIÓN MÓDULO FOTOVOLTAICO

SELECCIÓN MÓDULO FOTOVOLTAICO	
V (V)	24
P(W)	450
Voc(V)	58,75
Iscg(A)	9,18
Cantidad Aprox(Uni)	2,0
PG(W)	900
η (%)	17,26
Largo(m)	1,956
Ancho(m)	1,310
Área Panel(m^2)	2,56
Área Necesaria(m^2)	5,12
Marca	BlueSun
Tipo	Silicio Monocristalino

La tabla XV presenta los valores nominales del módulo fotovoltaico comercializado por la empresa Jinko empleados para el análisis de económico del sistema, el cual es policristalino con un voltaje de operación de 24V, un voltaje en vacío de 47,2V, una potencia igual a 335W y una corriente de cortocircuito de 9,18. Según los valores presentados en la tabla 14 se puede obtener la cantidad total de módulos fotovoltaicos necesarios para satisfacer la demanda por cabaña tipo, para su dimensionamiento se usó la ecuación 9.

$$Cantidad\ M.\ Fotovoltaico = \frac{Pg\ req}{PM.\ Fotovoltaico} \quad (9)$$

De la ecuación 9 se obtiene la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para suplir la demanda de la carga, de donde $Pg\ req$ hace referencia a la potencia de generación requerida por las cargas y $PM.\ Fotovoltaico$ es la potencia que puede suministrar el módulo fotovoltaico seleccionado.

De donde se obtiene como resultado 2 unidades. Adicionalmente se presentan las dimensiones de cada uno de los módulos fotovoltaicos con el fin de determinar el área necesaria estimada para su implementación, que para este caso corresponde a $3,88\ m^2$.

A continuación, la tabla XVI presenta la información respecto a la selección del banco acumulador del sistema.

TABLA XVI. SELECCIÓN BANCO ACUMULADOR

SELECCIÓN BANCO ACUMULADOR	
Qd(Ah/día)	74,1667
Pdmax-bat	0,8
η_{inv}	0,85
η_{reg}	0,8
A(día)	2
Cn(Ah)	272,6716
Igsc(A)	18,3600
$Cn < 25 * I_{gsc}$	VERDADERO
<i>Batería Gel Sonnenschein Vn=24v. 130Ah</i>	
Cbat(Ah)	130
Cantidad Aprox(Uni)	3

La tabla XVI presenta la cantidad de consumo diario que demanda la carga es igual a 74,1667 Ah/día, para nuestro análisis se tomarán 2 día de autonomía de operación del sistema, con esto obtenemos que la capacidad de descarga nominal del sistema es de 272,6716 Ah, debido a que la batería seleccionada tiene una capacidad de autonomía de 130h, se necesitaran 3 unidades.

A continuación, se presenta la información de selección del regulador de carga que tiene como objetivo dirigir y controlar la cantidad de energía que discurre entre el banco acumulador y los módulos fotovoltaicos.

TABLA XVII. SELECCIÓN DEL REGULADOR

SELECCIÓN DE REGULADOR	
In(A)	22,9500
I _{max-gen} (A)	30
V _{max} (V)	250
<i>Regulador PWM Must Solar</i>	

La tabla XVII presenta la corriente nominal que demanda el sistema es de aproximadamente 22,95A, por lo cual el regulador seleccionado tiene la capacidad de controlar una corriente máxima de 30A y un voltaje máximo de 250V.

La tabla XVIII presenta los parámetros propios del inversor seleccionado, con los cuales se garantiza el correcto de funcionamiento del sistema, incluyendo un bajo índice de distorsión armónica (THD).

TABLA XVIII. SELECCIÓN DEL INVERSOR

SELECCIÓN DEL INVERSOR	
Vsalida(V)	120
Psal(W)	250
Pmax-motores(W)	400
THD	Bajo
<i>Inversores Phoenix</i>	

Seguidamente se presenta un análisis económico de un sistema de generación fotovoltaica aislado, en donde en el valor total no se tiene en cuenta costos asociados con diseño y montaje del sistema fotovoltaico.

TABLA XIX. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN AISLADO					
	MÓDULO	REGULADOR	INVERSOR	BATERÍA	OTROS
CANTIDAD	2	1	1	3	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 152.850	\$ 296.700	\$ 1.548.150	
SUBTOTAL	\$ 1.098.000	\$ 152.850	\$ 296.700	\$ 4.644.450	\$ 1.238.400
TOTAL		\$ 7.430.400			

La tabla XIX presenta un análisis económico en donde se mira la cantidad de dispositivos necesarios para la implementación del sistema de generación fotovoltaico para la cabaña tipo y su respectivo precio actual en el mercado internacional. Adicionalmente se presenta un valor adicional que hace referencia al 20% a la estimación de los costos asociados a la instalación de los demás dispositivos mencionado en la tabla, este valor hace referencia costos de cableado y protecciones necesarias para la correcta implementación del sistema.

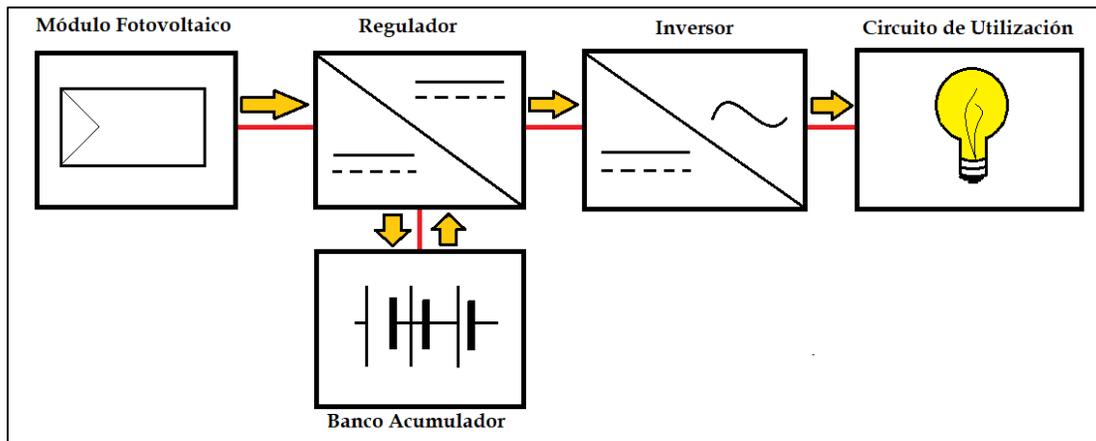


Fig 5. Diagrama de bloques sistema fotovoltaico autónomo

Fuente: Autor

La figura 5 presenta un diagrama de bloques general de un sistema de generación fotovoltaico autónomo o aislado.

La tabla XX presenta la información para un sistema de generación conectado a la red.

TABLA XX. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTADO A LA RED

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN CONECTADO A LA RED			
	MÓDULO	INVERSOR	OTROS
CANTIDAD	2	1	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 152.850	
SUBTOTAL	\$ 1.098.000	\$ 152.850	\$ 250.170
TOTAL	\$ 1.501.020		

Para el caso de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red se omite la implementación de bancos acumuladores y regulador, debido a que su dimensionamiento se realiza con el fin de poder suplir su propia carga en horas de generación y en la noche toma la energía necesaria de la red, de esta manera a comparación del sistema solar autónomo se ahorra en costos de dispositivos e implementación alrededor de un 80%, y costos asociados a mantenimientos futuros.

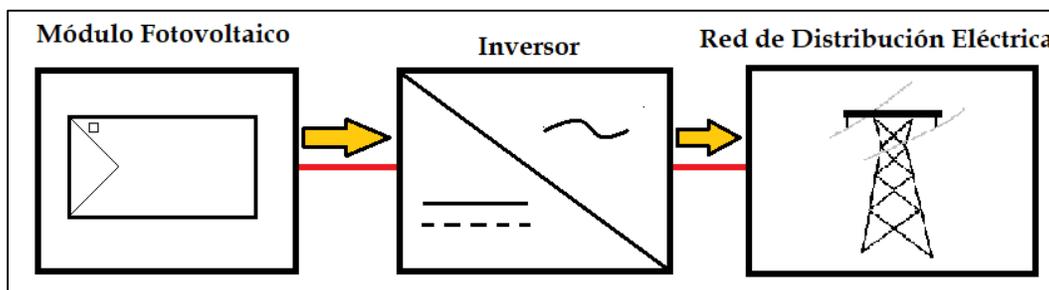


Fig 6. Diagrama de bloques sistema fotovoltaico conectado a la red

Fuente: Autor

La figura 6 presenta un diagrama de bloques general de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red de distribución eléctrica.

2) Caney

La tabla XXI presenta la información sintetizada del consumo promedio diario aproximado de energía del caney. Según la información presentada en esta tabla, se procede a la selección de los módulos fotovoltaicos.

TABLA XXI. CONSUMO DEL CANEY

CONSUMO CANEY	
Wd (KWh/día)	14,98
Pins (W)	4320
Pg req (W)	5558,23

La tabla XXII presenta la selección del módulo fotovoltaico comercial de la marca Jinko, el cual es policristalino con un voltaje de operación de 24V, un voltaje en vacío de 47,2V, una potencia igual a 335W y una corriente de cortocircuito de 9,18 A. Según los valores presentados en la tabla 22 se puede obtener la cantidad total de paneles necesarios para satisfacer la demanda por cabaña tipo, por medio de la ecuación 5, donde el resultado son 17 unidades.

De igual forma se puede observar que el área necesaria para la obtención de la energía necesaria es cercana a los 33 m^2 lo cual hace referencia a un espacio amplio para la posible instalación de los módulos fotovoltaicos.

TABLA XXII. SELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

SELECCIÓN MÓDULO FOTOVOLTAICO	
V (v)	24
P(w)	450
Voc(v)	58,75
Iscg(A)	9,18
Cantidad Aprox(Uni)	17,0
PG(w)	7650
η (%)	17,26
Largo(m)	1,956
Ancho(m)	1,310
Área Panel(m^2)	2,56
Área Necesaria(m^2)	43,52
Marca	BlueSun
Tipo	Silicio Monocristalino

La tabla XXIII presenta la información respecto a la selección del banco acumulador del sistema y la cantidad de consumo diario que demanda la carga es igual a 624,1667 Ah/día, para nuestro análisis se tomarán 2 día de autonomía de operación del sistema, con esto obtenemos que la

capacidad de descarga nominal del sistema es de 2294,7304 Ah, debido a que la batería seleccionada tiene una capacidad de autonomía de 130h, se necesitaran 20 unidades.

TABLA XXIII. SELECCIÓN DEL BANCO ACUMULADOR

SELECCIÓN BANCO ACUMULADOR

Qd(Ah/día)	624,1667
Pdmax-bat	0,8
η_{inv}	0,85
η_{reg}	0,8
A(día)	2
Cn(Ah)	2294,7304
Igsc(A)	156,0600
$Cn < 25 * I_{gsc}$	VERDADERO
<i>Batería Gel Sonnenschein Vn=24v. 130Ah</i>	
Cbat(Ah)	120
Cantidad Aprox(Uni)	20

A continuación, la tabla XXIV presenta la información de selección del regulador de carga que tiene como objetivo dirigir y controlar la cantidad de energía que discurre entre el banco acumulador y los módulos fotovoltaicos.

TABLA XXIV. SELECCIÓN DEL REGULADOR

SELECCIÓN DE REGULADOR

In (A)	195,0750
I _{max-gen} (A)	200
V _{max} (v)	300
<i>Regulador PWM Must Solar</i>	

En la tabla XXIV se observa que la corriente nominal que demanda el sistema es de aproximadamente 195,0750 A, por lo cual el regulador seleccionado tiene la capacidad de controlar una corriente máxima de 200A y un voltaje máximo de 300V.

La tabla XXV presenta los parámetros propios del inversor seleccionado, con los cuales se garantiza el correcto de funcionamiento del sistema, incluyendo un bajo índice de distorsión armónica (*THD*).

TABLA XXV. SELECCIÓN DEL INVERSOR

SELECCIÓN DEL INVERSOR

Vsalida (V)	120
P _{inv} (W)	3000
P _{max-motores} (W)	4800
THD	Bajo
<i>Inversores Phoenix</i>	

En la tabla XXVI se presenta un análisis económico de un sistema de generación fotovoltaica aislado, en donde en el valor total no se tiene en cuenta costos asociados con diseño y montaje del sistema fotovoltaico.

TABLA XXVI. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN AISLADO					
	MÓDULO	REGULADOR	INVERSOR	BATERÍA	OTROS
CANTIDAD	17	1	1	20	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 3.980.000	\$ 1.200.000	\$ 1.548.150	
SUBTOTAL	\$ 9.333.000	\$ 3.980.000	\$ 1.200.000	\$ 30.963.000	\$ 9.095.200
TOTAL					\$ 54.571.200

Para este análisis económico, se toma en cuenta la cantidad de dispositivos necesarios para la implementación del sistema de generación fotovoltaico para el caney y su precio actual en el mercado. Además, se presenta un valor adicional que hace referencia al 20% de la estimación de los costos asociados a la instalación de los demás dispositivos, este valor hace referencia a costos de cableado y protecciones necesarias para la correcta implementación del sistema.

La tabla XXVII presenta la información para un sistema de generación conectado a la red. Teniendo en cuenta que para el caso de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red se omite la implementación de bancos acumuladores y regulador.

TABLA XXVII. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTADO A LA RED

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN CONECTADO A LA RED			
	MÓDULO	INVERSOR	OTROS
CANTIDAD	17	1	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 1.200.000	
SUBTOTAL	\$ 9.333.000	\$ 1.200.000	\$ 2.106.600
TOTAL			\$ 12.639.600

3) *Piscina*

En la siguiente tabla se presenta el consumo promedio diario de la piscina Y según esta información se procede a la selección de los módulos fotovoltaicos ver tabla XXIX.

TABLA XXVIII. CONSUMO PISCINA

CONSUMO PISCINA	
Wd (KWh/día)	2,75
Pins (W)	1878
Pg req (W)	1020,377

La tabla XXIX presenta el módulo fotovoltaico comercial seleccionado de la marca Jinko, el cual es policristalino con un voltaje de operación de 24V, un voltaje en vacío de 47,2V, una potencia igual a 335W y una corriente de cortocircuito de 9,18 A.

TABLA XXIX. SELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

SELECCIÓN MÓDULO FOTOVOLTAICO	
V (v)	24
P (w)	450
Voc (v)	58,75
Iscg (A)	9,18
Cantidad Aprox (Uni)	4,00
PG (w)	1800
η (%)	17,26
Largo (m)	1,956
Ancho (m)	1,310
Área Panel (m^2)	2,56
Área Necesaria (m^2)	10,24
Marca	BlueSun
Tipo	Silicio Monocristalino

Según los valores presentados en la tabla anterior, se puede obtener la cantidad total de paneles necesarios para satisfacer la demanda de la piscina, por medio de la ecuación 5, dando como resultado 4 unidades. Además, se concluye que el área necesaria para la obtención de la energía necesaria es aproximadamente $7,76 m^2$.

En la tabla XXX se presenta la información respecto a la selección del banco acumulador del sistema, en esta tabla se puede observar que la cantidad diaria de consumo que demanda la carga es igual a 114,5833 Ah/día, para nuestro análisis se tomarán 2 día de autonomía de operación del sistema, con esto obtenemos que la capacidad de descarga nominal del sistema es de 421,2623 Ah, debido a que la batería seleccionada tiene una capacidad de autonomía de 130h, se necesitaran 4 unidades.

TABLA XXX. SELECCIÓN DEL BANCO ACUMULADOR

SELECCIÓN BANCO ACUMULADOR	
Qd (Ah/día)	114,5833
Pdmax-bat	0,8
η_{inv}	0,85
η_{reg}	0,8
A(día)	2
Cn (Ah)	421,2623
Igsc (A)	36,7200
$C_n < 25 * I_{gsc}$	VERDADERO
<i>Batería Gel Sonnenschein Vn=24v. 130Ah</i>	
Cbat (Ah)	120
Cantidad Aprox (Uni)	4

En la tabla XXXI se presenta la información de selección del regulador de carga que tiene como objetivo dirigir y controlar la cantidad de energía que discurre entre el banco acumulador y los módulos fotovoltaicos. En esta tabla se puede observar que la corriente nominal que demanda el sistema es de aproximadamente 45,9 A, por lo cual el regulador seleccionado tiene la capacidad de controlar una corriente máxima de 85A y un voltaje máximo de 250V.

TABLA XXXI. SELECCIÓN DEL REGULADOR

SELECCIÓN DE REGULADOR	
In (A)	45,9000
I _{max-gen} (A)	85
V _{max} (v)	250

La tabla XXXII presenta las características del inversor seleccionado, con los cuales se garantiza el correcto funcionamiento del sistema, incluyendo un bajo índice de distorsión armónica (*THD*).

TABLA XXXII. SELECCIÓN DEL INVERSOR

SELECCIÓN DEL INVERSOR	
V _{salida} (V)	120/230
P _{inv} (W)	3000
P _{max-motores} (W)	4800
THD	Bajo
<i>Inversores Phoenix</i>	

En la tabla XXXIII se presenta el análisis económico de un sistema de generación fotovoltaica aislado sin tener en cuenta los costos asociados al diseño y montaje del sistema.

TABLA XXXIII. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN AISLADO					
	MÓDULO	REGULADOR	INVERSOR	BATERÍA	OTROS
CANTIDAD	4	1	1	4	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 108.000	\$ 1.200.000	\$ 1.548.150	
SUBTOTAL	\$ 2.196.000	\$ 108.000	\$ 1.200.000	\$ 6.192.600	\$ 1.939.320
TOTAL	\$ 11.635.920				

Para este análisis económico, se tiene en cuenta la cantidad de dispositivos necesarios para la implementación del sistema de generación fotovoltaico para la cabaña tipo y su precio actual en el mercado. Adicionalmente se presenta un valor adicional que hace referencia al 20% a la estimación de los costos asociados a la instalación de los demás dispositivos mencionado en la tabla, este valor hace referencia costos de cableado y protecciones necesarias para la correcta implementación del sistema.

La tabla XXXIV presenta la información para un sistema de generación conectado a la red. Para este caso de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red se omite la implementación de bancos acumuladores y regulador.

TABLA XXXIV. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTAADO A LA RED

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN CONECTADO A LA RED			
	MÓDULO	INVERSOR	OTROS
CANTIDAD	4	1	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 1.200.000	
SUBTOTAL	\$ 2.196.000	\$ 1.200.000	\$ 679.200
TOTAL	\$ 4.075.200		

4) *Parqueadero*

La tabla XXXV presenta la información del consumo diario promedio de energía del parqueadero.

TABLA XXXV. CONSUMO PARQUEADERO

CONSUMO PARQUEADERO

Wd(KWh/día)	0,439
Pins(W)	214
Pg req(W)	162,5172

En base a la información de la tabla anterior se procede a la selección de los módulos fotovoltaicos.

La tabla XXXVI presenta el módulo fotovoltaico comercial de la marca Jinko, el cual es policristalino con un voltaje de operación de 24V, un voltaje en vacío de 47,2V, una potencia igual a 335W y una corriente de cortocircuito de 9,18 A. Con la información de la tabla anterior, se calcula la cantidad total de paneles necesarios para satisfacer la demanda del parqueadero, por medio de la ecuación 5, donde el resultado es 1 unidad. De igual forma se puede observar que el área necesaria para la obtención de la energía necesaria es cercana a los $1,94 m^2$.

TABLA XXXVI. SELECCIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

SELECCIÓN MÓDULO FOTOVOLTAICO	
V (v)	24
P(w)	450
Voc(v)	58,75
Iscg(A)	9,18
Cantidad Aprox(Uni)	1,0
PG(w)	450
η (%)	17,26
Largo(m)	1,956
Ancho(m)	1,310
Área Panel(m^2)	2,56
Área Necesaria(m^2)	2,56
Marca	BlueSun
Tipo	Silicio Monocristalino

La siguiente tabla presenta la información de la selección del banco acumulador del sistema.

TABLA XXXVII. SELECCIÓN DEL BANCO ACUMULADOR DE SISTEM

SELECCIÓN BANCO ACUMULADOR	
Qd (Ah/día)	18,2500
Pdmax-bat	0,8
η inv	0,85
η reg	0,8
A(día)	2
Cn (Ah)	67,0956
Igsc (A)	9,1800
$Cn < 25 * Igsc$	VERDADERO
Batería Gel Sonnenschein	Vn=24v. 130Ah
Cbat (Ah)	120
Cantidad Aprox (Uni)	1

La tabla XVII presenta la cantidad de consumo diario que demanda la carga que es igual a 18,25 Ah/día, para este análisis se tomarán 2 día de autonomía de operación del sistema, con esto se obtiene que la capacidad de descarga nominal del sistema es de 67,0956 Ah, debido a que la batería seleccionada tiene una capacidad de autonomía de 130h, se necesitará 1 unidad.

La siguiente tabla presenta la información de selección del regulador de carga cuyo objetivo es dirigir y controlar la cantidad de energía que discurre entre la batería y los módulos fotovoltaicos. La corriente nominal que demanda el sistema es 11,475 A, por lo tanto, el regulador seleccionado tiene la capacidad de controlar una corriente máxima de 30A y un voltaje máximo de 250V.

TABLA XXXVIII. SELECCIÓN DEL REGULADOR

SELECCIÓN DE REGULADOR	
In(A)	11,4750
Imax-gen(A)	30
Vmax(v)	250

La tabla XXXIX presenta los parámetros del inversor seleccionado con el cual se garantiza el correcto de funcionamiento del sistema, incluyendo un bajo índice de distorsión armónica (*THD*).

TABLA XXXIX. SELECCIÓN DEL INVERSOR

Selección del Inversor	
Vsalida(V)	120
Pinv(W)	250
Pmax-motores(W)	400
THD	Bajo
<i>Inversores Phoenix</i>	

La tabla XL presenta un análisis económico para un sistema de generación fotovoltaica aislado, en donde en el valor total no se tiene en cuenta los costos asociados con diseño y montaje del sistema fotovoltaico. En este análisis económico, se toma en cuenta la cantidad de dispositivos necesarios para la implementación del sistema de generación fotovoltaico para el parqueadero y su precio en el mercado. Adicionalmente, se incluye un valor adicional que hace referencia al 20% de la estimación de los costos asociados a la instalación de los demás dispositivos, este valor representa los costos de cableado y protecciones necesarias para la correcta implementación del sistema.

TABLA XL. ANÁLISIS ECONÓMICO AISLADO

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN AISLADO					
	MÓDULO	REGULADOR	INVERSOR	BATERÍA	OTROS
CANTIDAD	1	1	1	4	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 108.000	\$ 136.000	\$ 1.548.150	
SUBTOTAL	\$ 549.000	\$ 108.000	\$ 136.000	\$ 1.548.150	\$ 468.230
TOTAL	\$ 2.809.380				

En la tabla XLI presenta la información para un sistema de generación conectado a la red.

TABLA XLI. ESTUDIO ECONÓMICO CONECTADO A LA RED

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN CONECTADO A LA RED			
	MÓDULO	INVERSOR	OTROS
CANTIDAD	1	1	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 136.000	
SUBTOTAL	\$ 549.000	\$ 136.000	\$ 137.000
TOTAL	\$ 822.000		

Para el caso de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red se omite la implementación de bancos acumuladores y regulador.

5) Normatividad y comercialización

El ministerio de minas y energía de la República de Colombia a través de la Comisión de regulación de energía y gas (CREG) regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el sistema interconectado nacional (SIN) mediante la resolución 030 de 2018, en donde se definen las reglas que permiten a los usuarios conectarse al operador de red (OR) como auto generadores o generadores distribuidos.

Los usuarios podrán producir su propia energía reduciendo su consumo y el valor a pagar en la factura de servicio, y así mismo vender excedentes de energía de su generación al sistema; siempre y cuando el sistema de generación sea con fuentes limpias con el medio ambiente.

Según las disposiciones de la resolución 030 de 2018, las condiciones de conexión al sistema deben estar dispuestas en las páginas web de los operadores de red (OR), para el presente caso es la Electrificadora de Santander (ESSA).

Donde la CREG 030 establece “Como primera medida se debe revisar la disponibilidad a la red a la cual se desea conectarse, en donde la suma de la potencia instalada de los AGPE y GD debe ser

menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión”.

A continuación, se presenta el resultado de verificación de disponibilidad del circuito en donde se comprende el complejo hotelero Serranía del Viento.

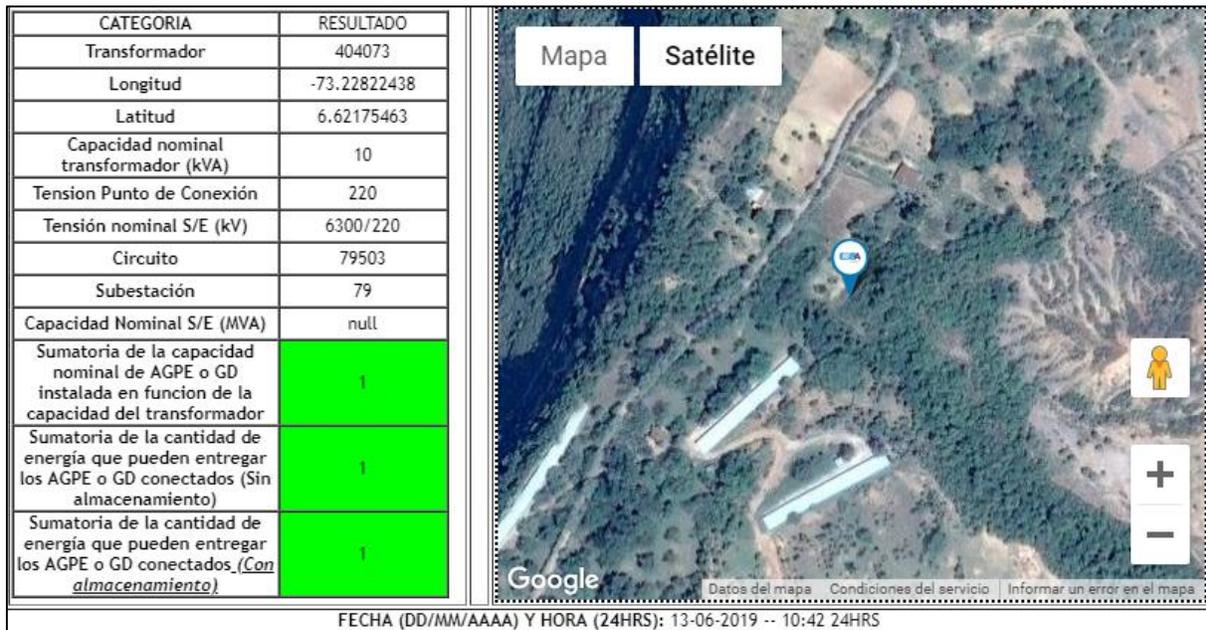


Fig 7. Disponibilidad del sistema

Fuente: <https://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/nuestrosproductosyservicios/autogeneradores.aspx>

La figura 7 presenta los estándares técnicos dispuestos para la aprobación de disponibilidad. El parámetro 1 hace referencia a la sumatoria de la capacidad nominal de AGPE y GD instalada está comprendida en un porcentaje menor al 15%, y el color verde especifica el poder continuar con el trámite correspondiente ante el OR.

Posteriormente se debe diligenciar los formularios de solicitud de conexión simplificada proporcionados por el OR, en donde de acuerdo a la resolución CREG 038 de 2014 y el RETIE se deben anexar memorias de cálculo, esquemas de protecciones de voltaje y frecuencia del punto de conexión, además del tipo de conexión a tierra tanto para la tecnología de generación como para punto de conexión; además de una serie de documentos para presentar en las pruebas de conexión.

Cabe resaltar que para usuarios que proyecten entrega de excedentes es obligatorio el cambio o instalación de un medidor bidireccional con registro horario, según el caso.

El OR realizará visitas de prueba dos (2) días antes de la fecha estimada de conexión del proyecto de autogeneración, en donde el usuario debe proveer certificaciones de conformidad con el RETIE, certificado de conformidad de producto del sistema de medición y certificados de calibración del sistema de medición. En donde seguidamente se procede a la puesta de servicio del sistema.

Para el supuesto de la venta de excedentes la resolución CREG 030 de 2018 establece la venta directa al comercializador integrado con el operador de red (OR). En este el comercializar está obligado a comprarle la energía al generador distribuido y el precio de venta de las exportaciones se calculará con la siguiente expresión. (10)

$$PVgdh, m, n, i, j = (PBh, m) + Beneficios \quad (10)$$

Donde:

$PVgdh, m, n, i, j$: Precio venta de la generación distribuida en la hora h del mes m en el nivel de voltaje n al comercializador i en el mercado de comercialización j , en \$/KWh.

PBh, m : Precio de bolsa en la hora h del mes m , en \$/KWh, siempre y cuando no supere el precio de escasez ponderado. Cuando el precio de bolsa supere el precio de escasez de activación definido en la Resolución CREG 140 de 2017 o todas aquellas que la modifiquen o sustituyan, será igual al precio de escasez ponderado.

El valor de los beneficios dispuestos en la ecuación 10 está dado por la siguiente expresión. (11)

$$Beneficios = 0.5 \times (Pn, m-1, i, j) \quad (11)$$

De donde

$Pn, m - 1, i, j$: Es igual al valor de las pérdidas técnicas en el sistema del OR j acumuladas hasta el nivel de voltaje n ; y está dada por la expresión. (12)

$$Pn, m - 1, i, j = \frac{(Gm - 1, i, j)(PRTe n, j, t)}{1 - PRTe n, j, t} \quad (12)$$

Gm, i, j : Costo de compra de energía (\$/KWh) para el mes m , del Comercializador Minorista i , en el Mercado de Comercialización j , determinados conforme se establece en el Capítulo III de la Resolución CREG 119 de 2007.

$PRTe_{n,j,t}$: Factor para referir las medidas de energía del nivel de voltaje del OR al STN en el año t considerando únicamente pérdidas técnicas.

En la siguiente tabla se presenta un valor suministrador por XM correspondiente al precio promedio de comercialización de energía para la empresa en la zona de estudio. Se presenta un registro histórico de los precios diarios promedio de venta por kilovatio hora (\$/KWh) del mes de marzo de 2019, para el municipio de Aratoca – Santander.

Tabla XLII. PRECIO PROMEDIO DIARIO (\$/KWh)

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN E.S.P. – COMERCIALIZADOR-MARZO 2019 – ARATOCA SANTANDER	
DÍA	PRECIO PROMEDIO DIARIO (\$/kWh)
1	391,6492
2	392,046
3	391,8416
4	391,1248
5	391,8047
6	391,761
7	391,6887
8	391,6514
9	391,9576
10	391,8117
11	390,6033
12	391,3128
13	391,533
14	391,8399
15	391,5491
16	391,8022
17	391,9241
18	390,5766
19	391,2978
20	391,8413
21	391,9438
22	391,4577
23	391,7392
24	392,2197
25	391,8697
26	391,5059
27	391,9726
28	391,915
29	391,8613
30	391,8372
31	391,9061

La figura 8 presenta un comportamiento del precio promedio diario del mes de marzo de 2019, dado por el comercializador EPM.

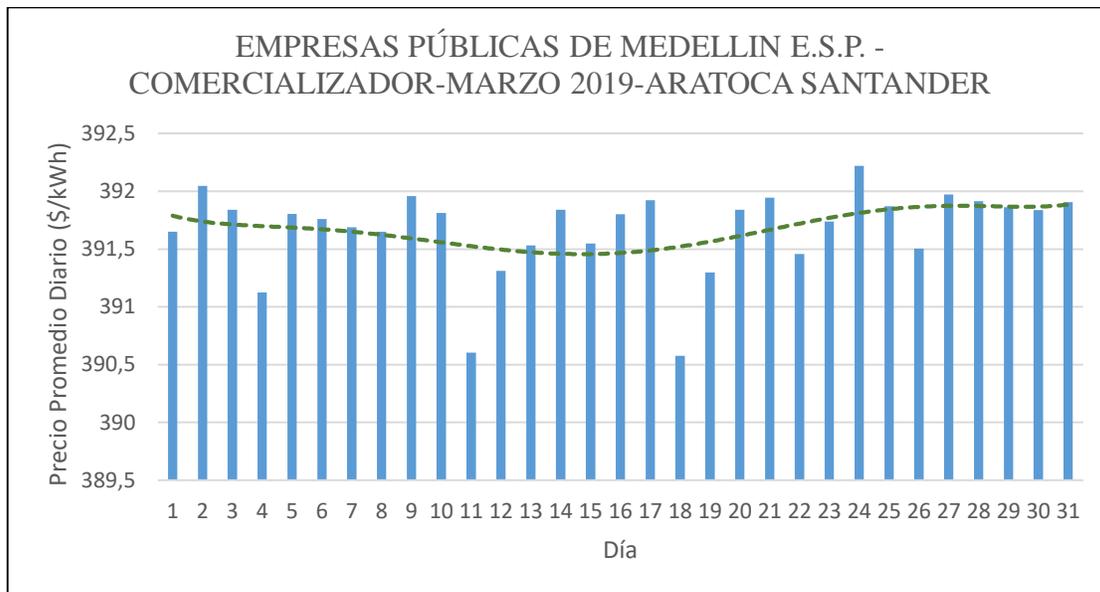


Fig 8. Precio promedio diario (\$/KWh)

Fuente: Autor utilizando el software Excel

La tabla XLIII presenta el precio promedio de energía transada en el departamento de Santander para el municipio de Aratoca comercializada por Empresas Públicas de Medellín E.S.P, en donde el precio promedio de KWh para el mes de marzo del año 2019 es de 391,782 pesos; dispuesta por la compañía Expertos en Mercados (XM) filial de la firma estatal colombiana de transmisión (ISA).

TABLA XLIII. PRECIO PROMEDIO DE ENERGÍA TRANSADA

PRECIO PROMEDIO DE ENERGÍA TRANSADA - MARZO 2019

Precio Promedio Diario (\$/KWh)	\$	391,7824
---------------------------------	----	----------

a) Sistemas de generación fotovoltaico aislado

A continuación, se presenta un análisis de plazo de recuperación de la inversión (PayBack) por espacio tipo del complejo hotelero Serranía del viento.

- *Cabaña Tipo*

La tabla XLIV presenta los datos correspondientes a la cabaña tipo, donde: P_{total} es al valor total de la implementación del sistema de generación de la cabaña tipo (ver tabla XIX), W_d es la energía

que demanda el sistema de la cabaña tipo (ver tabla XIV) y *Precio* es el costo por KWh (ver tabla V).

Para el cálculo del tiempo de recuperación se empleó la ecuación 13.

TABLA XLIV. DATOS CABAÑA TIPO

PTOTAL	Wd (KWh/día)	PRECIO KWh (\$)
\$ 7.430.400	1,78	\$ 534,7823
t (años)		21,39

$$t \text{ (años)} = \frac{\left[\frac{P_{total}}{(Wd)(Precio \text{ KWh})} \right]}{\text{Dias año}} \quad (13)$$

- *Caney*

La tabla XLV presenta los datos correspondientes al caney. Dónde: *Ptotal* es el valor total de la implementación del sistema de generación del caney (ver tabla XXVI), *Wd* es la energía que demanda el sistema (ver tabla XXI) y *Precio* es el costo por KWh (ver tabla V).

Para el cálculo del tiempo de recuperación se empleó la ecuación 13.

TABLA XLV. DATOS CANEY

Ptotal(\$)	Wd(KWh/día)	Precio KWh (\$)
\$ 54.571.200	14,98	\$ 534,7823
t (años)		18,66

- *Piscina*

La tabla XLVI presenta los datos correspondientes a la piscina. Dónde: *Ptotal* equivale al valor total de la implementación del sistema de generación de la piscina (ver tabla XXXII), *Wd* es la energía que demanda el sistema (ver tabla XXVIII) y *Precio* es el costo por KWh (ver tabla V).

Para el cálculo del tiempo de recuperación se empleó la ecuación 13.

TABLA XLVI. DATOS PISCINA

Ptotal	Wd (KWh/día)	Precio KWh
\$ 11.635.920	2,75	\$ 534,7823
t (años)		21,68

- **Parqueadero**

La tabla XLVII presenta los datos correspondientes al parqueadero. Dónde: P_{total} equivale al valor total de la implementación del sistema de generación del parqueadero (ver tabla XXXIX), W_d es la energía que demanda el sistema (ver tabla XXXIV) y $Precio$ es el costo por KWh (ver tabla V).

Para el cálculo del tiempo de recuperación se empleó la ecuación 13.

TABLA XLVII. DATOS PARQUEADERO

Ptotal	Wd (KWh/día)	Precio KWh
\$ 2.809.380	0,439	\$ 534,7823
	t (años)	32,79

De los anteriores análisis se concluye que el tiempo de recuperación de la inversión para un sistema de generación fotovoltaica aislado es muy alto por lo que no es viable su implementación.

b) Sistema de generación fotovoltaico conectado a la red

El siguiente análisis presenta la relación venta - compra de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red, en donde según la CREG 030 de 2018 la suma de la potencia instalada de los AGPE y GD debe ser menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, por lo cual este valor hace referencia a 1,5KVA/h.

Considerando que el valor máximo de potencia que puede entregarse a la red es 1,5KVA/h, se dimensionó un sistema de generación conectado a la red con este valor como límite.

La tabla XLVIII presenta la descripción general de los parámetros del módulo fotovoltaico seleccionado, igualmente se presenta que para la potencia de generación máxima posible entregada a la red 15KVA/h la cantidad de módulos fotovoltaicos es igual a 3 unidades.

TABLA XLVIII. DATOS MÓDULO FOTOVOLTAICO

SELECCIÓN DE MÓDULO FOTOVOLTAICO

V (V)	24/48
P (W)	450
Voc (V)	47,2
Iscg (A)	9,78
Cantidad Aprox(Uni)	3,0
PG (w)	1350
η (%)	17,95
Largo (m)	1,956
Ancho (m)	1,31
Área Pane l(m^2)	2,56
Área Necesaria (m^2)	7,68
Marca	BlueSun
Tipo	Silicio Monocristalino
S15% (KVA)	1,5

La tabla XLIX presenta el valor promedio de la potencia generada por la cantidad igual a 3 módulos fotovoltaicos, para el cual el valor de potencia en un día es igual a 15KVA y la potencia generada mensual es igual a 450KVA.

TABLA XLIX. POTENCIA DE GENERACIÓN PROMEDIO

POTENCIA GENERADA - TIEMPO

PG_t(KVA/hora)	1,5
PG_t (KVA/día Solar)	15
PG_t (KVA/Mes)	450

En la tabla V se muestra el histórico de consumo promedio del complejo hotelero Serranía del Viento que es a 372,286 KW/h (413,651KVA), al comparar el valor de potencia generada promedio mes 450KVA se obtiene un valor de 1,087% más que el consumo mensual promedio del sistema. La tabla L presenta un análisis económico en donde se refleja el valor aproximado del costo correspondiente a los dispositivos necesarios para su implementación y se agrega un valor adicional que hace referencia a gastos adicionales.

TABLA L. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN CONECTADO A LA RED			
	MÓDULO	INVERSOR	OTROS
CANTIDAD	3	1	
PRECIO	\$ 549.000	\$ 1.250.000	
SUBTOTAL	\$ 1.647.000	\$ 1.250.000	\$ 5.200.000
TOTAL	\$ 8.097.000		

La tabla 51 presenta el precio total aproximado mensual de la venta de excedentes a la red, en donde el valor dispuesto en la ecuación 10 correspondiente a beneficios es igual a cero (0).

TABLA LI. PRECIO APROXIMADO VENTA DE EXCEDENTES

PRECIO APROXIMADO VENTA EXCEDENTES	
Precio Promedio Diario (\$/KWh)	\$ 391,782
PG_t Mes (KVA/h)	450
Precio Promedio Venta-Mes (\$/KWh)	\$ 176.302

De análisis anterior se concluye que el sistema de generación fotovoltaica conectada la red para el complejo hotelero Serranía del Viento es viable económicamente ya que presenta un porcentaje promedio aproximado de disminución en la facturación mensual igual al 65,51%.

VI. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL COMPLEJO HOTELERO SERRANÍA DEL VIENTO DE BARICHARA

A) Selección del módulo fotovoltaico

Para la selección de la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para un sistema de generación se debe tener presente la potencia demandada por la carga, para el presente caso este parámetro fue estimado según el máximo de energía el cual según la CREG 030 de 2018 es la suma de la potencia instalada de los AGPE y GD debe ser menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, por lo cual este valor hace referencia a 1,5KVA/h para el caso de análisis.

La tabla LII presenta los datos generales del módulo fotovoltaico seleccionado. Para conocer la cantidad necesaria de módulos fotovoltaicos se empleó la ecuación 14.

TABLA LII. DATOS MÓDULO FOTOVOLTAICO

MÓDULO FOTOVOLTAICO	
Marca	BlueSun
Tipo	Silicio monocristalino
Modelo	BSM460M-96
Potencia Máxima Nominal (W)	460
Voltaje de Circuito Abierto (V)	58,75
Voltaje de Potencia Máximo (V)	48,00
Corriente de Cortocircuito (A)	9,78
Corriente de Potencia Máxima (A)	9,59
Eficiencia (%)	17,95
Nivel de Protección	IP67
Largo (m)	1,956
Ancho (m)	1,31
Área Módulo	2,56236

$$n(\text{unidades}) = \frac{(Fp)(S)(1000)}{Pm} \quad (14)$$

Donde Fp es el factor de potencia (0,9), S hacer referencia a la potencia posible a generar igual a 1350W (1,5KVA) y Pm es la potencia máxima nominal del módulo fotovoltaico (460W).

De la ecuación 14 se obtiene que la cantidad necesaria de módulos fotovoltaicos es 3.

Además, se debe tener presente las pérdidas del sistema, presentadas en la tabla LIII.

La tabla LIII incluye un porcentaje de pérdidas sugerido por los autores Agustín Castejón y Germán Santamaría en su libro Instalaciones Solares Fotovoltaicas (Cap.5) que se traduce en una reducción en la producción promedio de energía, es decir una reducción en la venta de excedentes a la red. Según la tabla 51, la potencia total de generación es menor, por lo cual se hace posible la implementación de un módulo fotovoltaico adicional.

TABLA LIII. PÉRDIDAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

PÉRDIDAS DEL SISTEMA	
Pérdidas	% Pérdidas
Dispersión	5
Polvo y suciedad	4
Angulares y Espectrales	4
Temperatura	7
Cableado	1,5
Inversor	8
No seguimiento MMP	3
Otros	5
Total Pérdidas (%)	37,5

B) Orientación e inclinación

Según la información presentada en la tabla XIII, el ángulo de inclinación óptimo de los módulos fotovoltaicos (B_{opt}) es igual a $8,2855^\circ$, con un ángulo acimut de 90° .

En la figura 9 presenta la base soporte de instalación para las 4 unidades de módulos fotovoltaicos, el soporte triangulo flex delta proporciona la inclinación requerida, así mismo está diseñada para soportar vientos hasta de 250 Km/h y soportar condiciones climáticas extremas.

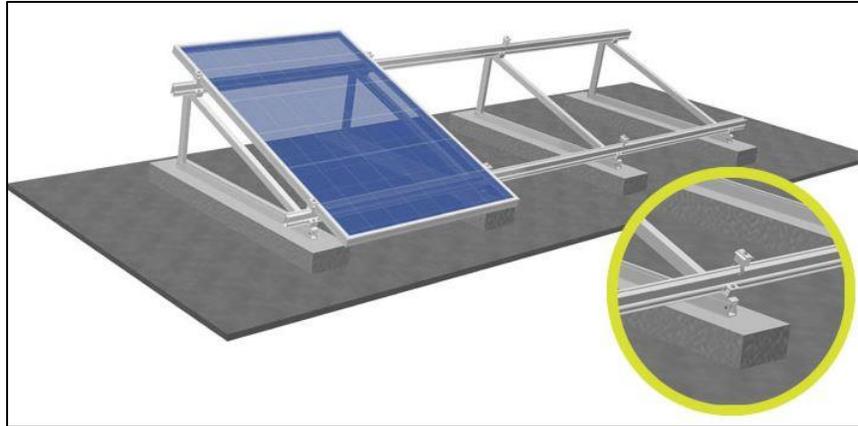


Fig 9. Soporte Triangulo Flex Delta

Tomado de: <https://www.sflex.com/index.php/flachdachsysteme/ballastiert#komponenten>

C) Selección del inversor

El complejo hotelero cuenta con un sistema monofásico, por lo cual el inversor del sistema de generación conectado a la red es de configuración monofásico central.



Fig 10. Inversor Copesur SPE - 2000.

Tomado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/intelligent-off-grid-solar-inverter-hybrid-62038910752.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.23.79172d937gIPL0>

La siguiente tabla presenta las características técnicas del inversor Copesur SPE – 2000; la potencia máxima de salida es superior a la potencia producida por el generador, y cuenta con un rango de seguidor de punto de máxima potencia de 30 a 80 V y una corriente máxima de operación de 50A.

TABLA LIV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INVERSOR

INVERSOR	
Marca	Cosuper
Modelo	SPE - 2000
Tipo	Inversor DC/CA
Dimensiones (mm)	100*300*440
Voltaje de Entrada (V)	24 /48
Voltaje de Salida (V)	210/240
Corriente Máxima (A)	60
Frecuencia de Salida (Hz)	50/60
Potencia Máxima de Salida (KVA)	2
Rango MPPT (V)	30/80
Temperatura de Operación (°)	0/60
Eficiencia (%)	93
Peso (Kg)	6,4 – 7,6

D) Dimensionamiento de conductores

La figura 11 presenta los tramos de línea de los conductores del sistema de generación fotovoltaico conectado a la red, cada uno hace referencia a una selección diferente de conductores en correlación a la corriente de circulación multiplicada por 1,25 que implica un sobredimensionamiento de la capacidad nominal del conductor.

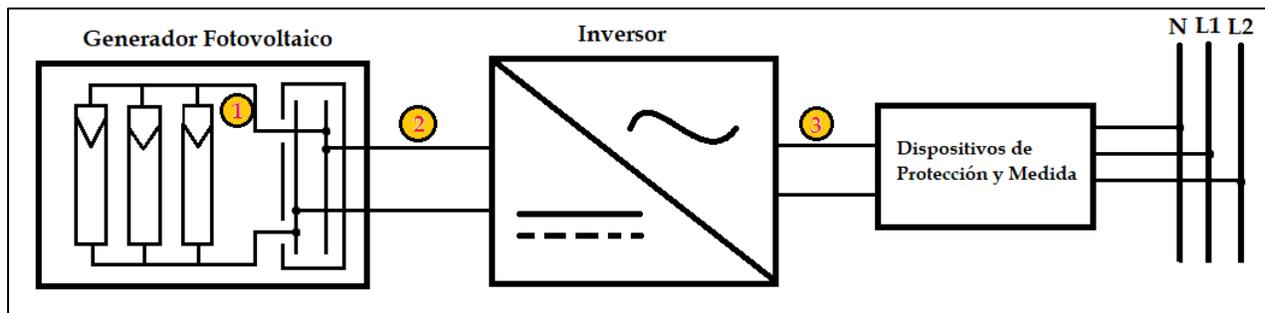


Fig 11. Tramos de línea

Fuente: Autor

En los tramos 1 y 2 (*figura 11*) se utiliza cables resistentes a la intemperie, debido a que están expuestos al sol y radiaciones UV, además de soportar altas temperaturas. Para la selección transversal de conductores se utiliza la ecuación 14.

$$S(mm^2) = \frac{(200)(L)(P)}{(\Delta U\%)(V^2)(Y)} \quad (14)$$

Donde:

$S(mm^2)$ Sección transversal del conductor

$L (m)$ Longitud del tramo

$P(W)$ Potencia activa transportada por la línea

$\Delta U\%$ Caída de voltaje máxima permitida

$V(V)$ Voltaje de la línea

$\Upsilon(s.m/mm^2)$ Conductividad del conductor

La caída de voltaje máxima permitida es igual a 1,5%, de donde se determina la caída de voltaje por unidad de longitud por tramo, presentado en la ecuación 15.

$$\Delta U = \frac{1,5\%}{L_T} \quad (15)$$

La longitud total de conductores para el sistema de generación es de 8 metros, y según la ecuación 15, ΔU es 0,214 y el reparto de caídas de voltaje para los tramos está dado por la expresión 16.

$$\Delta U\% = \Delta U * L_n \quad (16)$$

Según la ecuación 16, el tramo 1 con una longitud de 2 metros presenta una caída de voltaje máxima permitida de 0,4%. El tramo 2 con una longitud de 4 metros presenta una caída de voltaje máxima permitida de 0,856% y el tramo 3 con una longitud de 1 metros presenta una caída de voltaje máxima permitida de 0,214%:

En la siguiente tabla se encuentra la sección transversal de conductor según los datos de cada tramo. El aislamiento usado de los conductores para los tramos 1, 2 y 3 es cable con chaqueta de nylon y aislamiento de vinilo/termoplástico utilizado generalmente en áreas secas y húmedas (THHN).

La tabla LV presenta el calibre de conductor seleccionado para cada tramo, donde se aplica un factor de corrección por temperatura (Fc_t) y un factor de corrección por agrupamiento (Fc_a) con los cuales se calculó la corriente sobredimensionada total de capacidad por conductor (Ifc_{Total}).

TABLA LV. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR

SECCIÓN TRANSVERSAL DE CONDUCTOR			
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
LONGITUD (m)	2	4	1
P (W)	293,4	880,2	130,5
ΔU %	0,4	0,856	0,214
S (mm²)	8,547	23,962	3,553

La Norma Técnica Colombiana (NTC 2050 – tabla 310.16) da la capacidad de corriente permisible en conductores aislados a temperatura ambiente (30°C), en función de la sección transversal.

TABLA LVI. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR

SELECCIÓN DE CONDUCTOR			
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
AWG	6	3	10
t (°C)	75	75	75
I (A)	65	100	35
Fc_t (35°C)	1,08	1,08	1,08
Fc_a (3 c)	0,8	0,8	0,8
Ifc_{Total} (A)	56,16	86,4	30,24

E) Selección de protecciones

Los diferentes dispositivos del sistema de generación fotovoltaica deben ser protegidos, así como el sistema en general con el fin de prevenir interrupciones o daños mayores en el sistema.

1) Protección frente a sobretensiones

Las sobretensiones constituyen el mayor factor de riesgo para los equipos puestos al aire libre en los sistemas de generación fotovoltaica; las cuales son producidas generalmente por descargas atmosféricas. Para proteger el sistema frente a estos fenómenos se implementaron descargadores de sobrevoltaje.



Fig 12. Descargador de sobretensiones

Tomado de: <https://new.abb.com/products/2CTB804153R1900/ovr-pv-40-1000-p-ts-bw-surge-protective-device>

La figura 12 presenta el descargador de sobretensiones OVR PV 40-1000 P de ABB, clase II, los cuales mantienen tensiones residuales medias, limitando las tensiones residuales a valores compatibles con las tensiones soportadas por los diferentes equipos del sistema de generación fotovoltaica, la tabla LVII presenta las características propias del descargador de sobretensiones OVR PV 40-1000P.

TABLA LVII. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DESCARGADOR

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DESCARGADOR

Corriente de descarga nominal (KA)	20
Corriente de descarga máxima (KA)	40
Voltaje de régimen permanente máxima (KV)	1
Voltaje de protección (KV)	3,8

2) Protección frente a sobrecargas

El sistema cuenta con 3 módulos fotovoltaicos en paralelo, por lo cual es necesaria una protección contra corrientes inversas en cada rama.

El cálculo de dimensionamiento del calibre de los fusibles se presenta en la ecuación 17.

$$I_F = 2 * I_{cc} \quad (17)$$

Donde la corriente del fusible presentada en la ecuación 17 es igual a 19,56 A.



Fig 13. Fusible Bussmann SC

Tomado de: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-516459307-bussmann-sc-20-cartucho-tiempo-de-baja-tension-fusible-de-r-_JM?quantity=1



Fig 14. Portafusible Bussmann

Tomado de: <https://cl.rsdelivers.com/product/cooper-bussmann/chpv1u/portafusibles-para-montaje-en-carril-cooper/7652936>

La figura 13 presenta el fusible Bussmann de baja voltaje, de la serie: SC, 20 A, 600 VAC / 170 VDC, Clase: G, 12 segundos a 200% de respuesta, Rechazo cilíndrica del cuerpo de elemento doble melamina, y la figura 14 presenta su correspondiente portafusible Bussmann.

De igual forma se presenta una protección magnetotérmica la cual tiene como objetivo interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos.



Fig 15. Interruptor magnetotérmico ABB

Tomada de: <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/aparamenta-modular/interruptores-automaticos-magnetotermicos/interruptores-automaticos-magnetotermicos-para-uso-residencial-sv-200>

La figura 15 presenta el interruptor magnetotérmico ABB SV-200 automático, el cual tiene un poder de corte de 6KA, corrientes nominales de 40 A, y curva de disparo C garantizando la extinción de arco eléctrico.

Para posibles trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo se utilizará un interruptor seccionador. La figura 16 presenta el interruptor seccionador ABB de baja voltaje, con corrientes máximas de hasta 1KA.



Fig 16. Interruptor seccionador de baja voltaje

Tomada de: <http://www.directindustry.es/prod/abb-smart-power/product-88554-1227023.html>

3) *Caja general de protecciones*

Los dispositivos de protección están a la intemperie, por lo cual es necesario la implementación de una caja general para su protección y la cual facilita la maniobra en caso de ser necesaria. La figura 17 presenta la caja general de conexiones termoplástica ABB Gemini con un grado de protección

IP 66, un grado de impactos IK 10, temperaturas de soportabilidad de hasta 100°C y alta resistencia a agentes salinos y químicos.



Fig 17. Caja general de protecciones ABB

Tomada de: <https://alianzaelectric.com/documents/productos/Tableros%20y%20centros%20de%20carga/Catalogo%20-%20Gabinetes%20ABB.pdf>

F) Medidor bidireccional

Para la venta de excedentes a la red se hace indispensable la implementación de dispositivos de medida para censar el flujo de energía hacia la red y viceversa.



Fig 18. Medidor Bidireccional ISKRA

Tomado de: <http://suneoenergy.com/index.php/product/medidor-bidireccional-trifasico-iskra-homologado-y-con-protocolos/>

La tabla LVIII presenta las características técnicas del medidor bidireccional ISKRA, el cual está diseñado para sistemas trifásicos y monofásicos. Sus márgenes de exactitud de medida están aprobados y regidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC 4052-4569) y los estándares de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 62053-21/23).

TABLA LVIII. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR BIDIRECCIONAL ISKRA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR BIDIRECCIONAL		
	Voltaje nominal Un (V)	120/240
	Rango de Voltaje	0,8 - 1,15 Un
	Corriente base In (A)	5
	Corriente máxima I _{max} (A)	120
	Energía Activa	1
Clase de Exactitud	Energía Reactiva	2
	Energía Aparente	2
Reloj tiempo real	Precisión	Mejor que ± 3 min/año
	Alimentación de respaldo	Pila Li. 5 años de operación
	Índice de protección IP	54
	Interfaz	RS485
	Consumo	0,8W/10A

G) Análisis económico

Una vez seleccionados todos los dispositivos necesarios para el sistema de generación fotovoltaico, se procede a realizar un análisis económico que represente la inversión total para la implementación del sistema.

TABLA LIX. ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO

ANÁLISIS ECONÓMICO SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED					
	MÓDULO	INVERSOR	ESTRUCTURA	CONDUCTORES	PROTECCIONES
CANTIDAD	4	1			
PRECIO	\$ 549.000	\$ 1.250.000			
SUBTOTAL	\$ 2.196.000	\$ 1.250.000	\$ 4.200.000	\$ 500.000	\$ 1.900.000
SUBTOTAL					
(10%)	\$ 1.004.600				
TOTAL	\$ 11.050.600				

La tabla LIX representa un análisis económico en donde se reflejan el precio particular de cada dispositivo dimensionado anteriormente, adicionalmente se agrega un porcentaje del 10% del precio total neto, con el fin de suplir gastos relacionados con elementos menores de instalación.

En el análisis presentado en la tabla anterior no se tiene en cuenta precios relacionados con mano de obra.

Para el cálculo de la duración promedio de un día solar, se empleó el método de Spencer para determinar la declinación y en conjunto con la ubicación proporciona una aproximación de la duración del día solar de la ecuación 18 [14].

$$N(h) = \frac{2}{15} \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \quad (18)$$

De donde

$$\phi = \text{Latitud}$$

$$\delta = \text{Declinación}$$

La ecuación 18 presenta el valor en horas de la duración de un día al año, es por esto que para el presente análisis se realizó una programación en la cual se determine el valor aproximado promedio anual.

La figura 19 ilustra el comportamiento descrito por la ecuación 18 (duración promedio día solar), para 1 año (365 días), donde el valor mínimo de la duración del día solar es 11,6 horas.

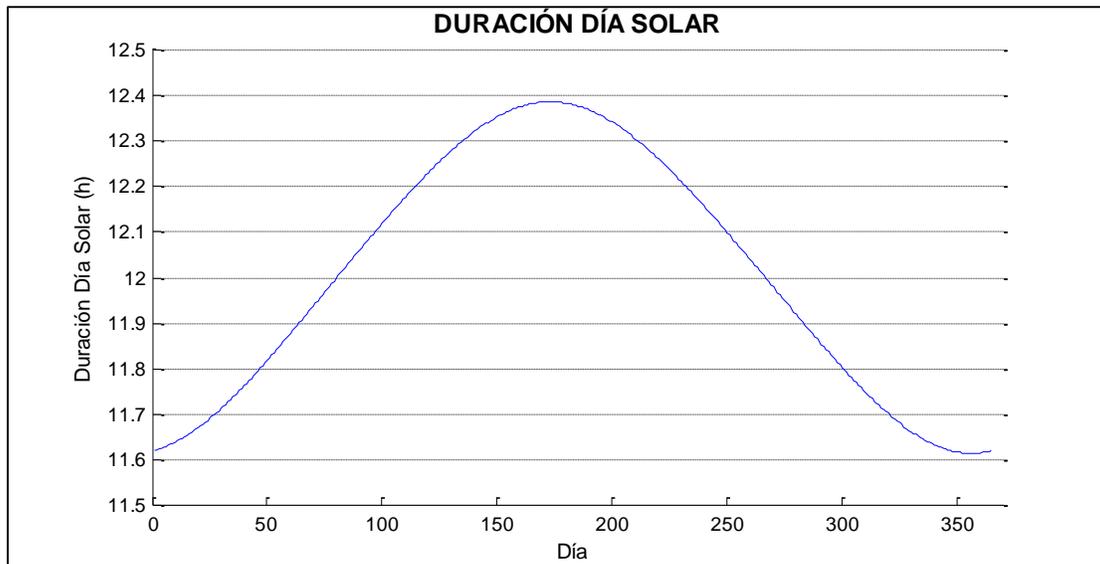


Fig 19. Duración día solar

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La tabla LX presenta la potencia promedio generada al mes, evidenciando una reducción debido a el 37,5% de pérdidas evaluadas en el sistema de generación.

TABLA LX. POTENCIA GENERACIÓN PROMEDIO REAL

POTENCIA GENERADA - TIEMPO

PG_t (KW/hora)	1,15
PG_t (KW/día Solar)	13,34
PG_t (KW/Mes)	400,2

La tabla LXI presenta el precio aproximado producto de la venta de excedentes a la red, en donde se desprecia el valor de los beneficios estipulados en la ecuación 10.

TABLA LXI. PRECIO APROXIMADO VENTA DE EXCEDENTES

PRECIO APROXIMADO VENTA EXCEDENTES	
Precio Promedio Diario (\$/KWh)	\$ 391,782
PG_t Mes (KW/h)	400,2
Precio Promedio Venta-Mes (\$/KWh)	\$ 156.791,16

Al realizar una proyección en el tiempo según el precio promedio de venta al mes (tabla LXI) en correlación con la inversión total de la implementación del sistema (tabla XIL), se puede determinar que la recuperación de la inversión total es en un tiempo estimado de 5,87 años. Ecuación 19.

$$tiempo(años) = \frac{Inversión\ total}{(Valor\ venta\ anual)} \quad (19)$$

A continuación, la figura 20 presenta el diagrama de distribución de los dispositivos seleccionados.

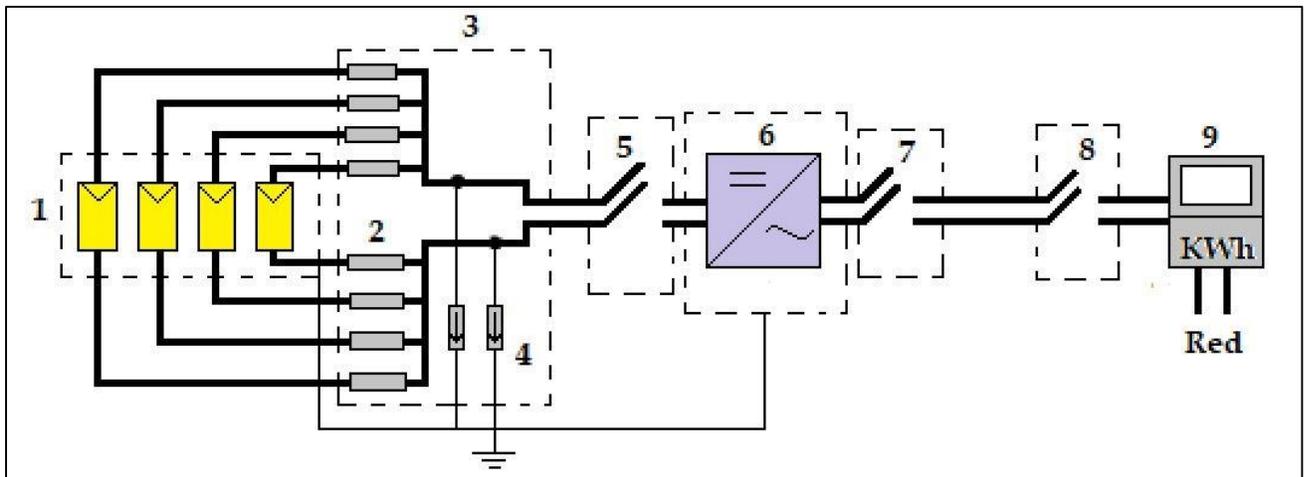


Fig 20. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

Fuente: Autor

La figura 20 presenta el diagrama unifilar del sistema de generación fotovoltaico diseñado para el sistema hotelero serranía del viento, en el cual se observan los dispositivos de protección, control y medida del sistema.

TABLA LXII. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO

ELEMENTOS SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO

Item	Dispositivo
1	Generador Fotovoltaico BlueSun - BSM460M-96
2	Fusible Bussmann SC 20
3	Caja General de Protecciones ABB Gemini
4	Descargadores de Sobretensiones ABB OVR PV 40-1000 P
5	Interruptor Seccionador ABB
6	Inversor Copesur SPE - 2000
7	Interruptor Magnetotérmico ABB SV-200
8	Interruptor Seccionador ABB
9	Medidor Bidireccional ISKRA

La tabla LXII presenta el ítem en relación con la figura 20, en donde se presenta los nombres de cada dispositivo asociado al sistema de generación fotovoltaico

VII. SIMULACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS DEL COMPLEJO HOTELERO SERRANÍA DEL VIENTO.

Para la simulación de sistema del complejo hotelero Serranía del Viento se consideraron diferentes estados presentados a continuación.

A) Sistema actual

La figura 21 presenta el esquema general actual del complejo hotelero Serranía del Viento, en la cual se evidencia la distribución de las cargas, y las impedancias de línea.

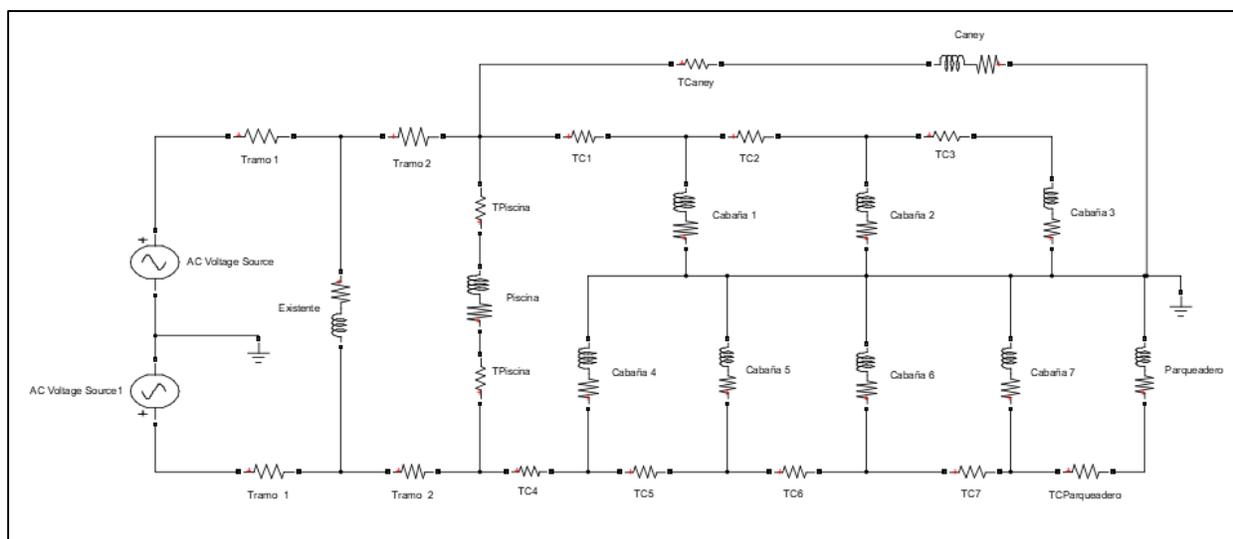


Fig 21. Sistema actual general

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

B) Sistema Actual con Porcentaje de Utilización (16%)

En el capítulo IV se menciona el porcentaje de relación que se presenta entre el histórico de consumo máximo y la carga total instalada que es igual a 16,067%; es decir que el porcentaje de utilización total de la potencia instalada en el complejo es aproximadamente 16%.

Para el siguiente análisis se simuló el sistema (figura 20) con porcentaje de utilización del 16,067%.

La tabla LXII presenta la información de la potencia de las cargas al 16,07% de utilización.

TABLA LXIII. DATOS DE SISTEMA

DATOS DEL SISTEMA					
CABAÑA TIPO			CANEY		
P(W)	Q(VAR)	S(VA)	P(W)	Q(VAR)	S(VA)
560	271,22	622,22	4320	2092,27	4800,00
P(16,07%)	Q(16,07%)	S(16,07%)	P(16,07%)	Q(16,07%)	S(16,07%)
89,99	43,59	99,99	694,22	336,23	771,36
PISCINA			PARQUEADERO		
P(W)	Q(VAR)	S(VA)	P(W)	Q(VAR)	S(VA)
1878	909,56	2086,67	214	103,64	237,78
P(16,07%)	Q(16,07%)	S(16,07%)	P(16,07%)	Q(16,07%)	S(16,07%)
301,79	146,17	335,33	34,39	16,66	38,21

La tabla LXIII presenta los datos de las impedancias de línea, el valor de a resistencia proporcionado por el fabricante (Centelsa) está dado según calibre de conductor, AWG 10 ($R_{fábrica}=3,94 \Omega$) y AWG 1/0 ($R_{fábrica}=0,659 \Omega$), de donde según el tramo del conductor se determina una impedancia de línea para cada tramo de conductor.

TABLA LXIV. IMPEDANCIAS DE LÍNEA

IMPEDANCIAS DE LÍNEA			
TRAMO	L(Km)	$R_{fábrica}(\Omega/Km)$	R(Ω)
C1	0,0580	3,94	0,229
C2	0,0815	3,94	0,321
C3	0,0375	3,94	0,148
C4	0,0883	3,94	0,348
C5	0,0502	3,94	0,198
C6	0,0475	3,94	0,187
C7	0,036	3,94	0,142
Parqueadero	0,041	3,94	0,162
Piscina	0,018	3,94	0,071
Caney	0,0885	3,94	0,349
1	0,08178	0,659	0,053
2	0,26076	0,659	1,171

Para el análisis del sistema se presenta el sistema actual general (figura 20) simplificado, en donde los bloques representan el conjunto de cargas de dicho tramo (figura 1).

La figura 22 presenta un sistema simplificado, en donde cada bloque representa las cargas presentes en los tramos del sistema.

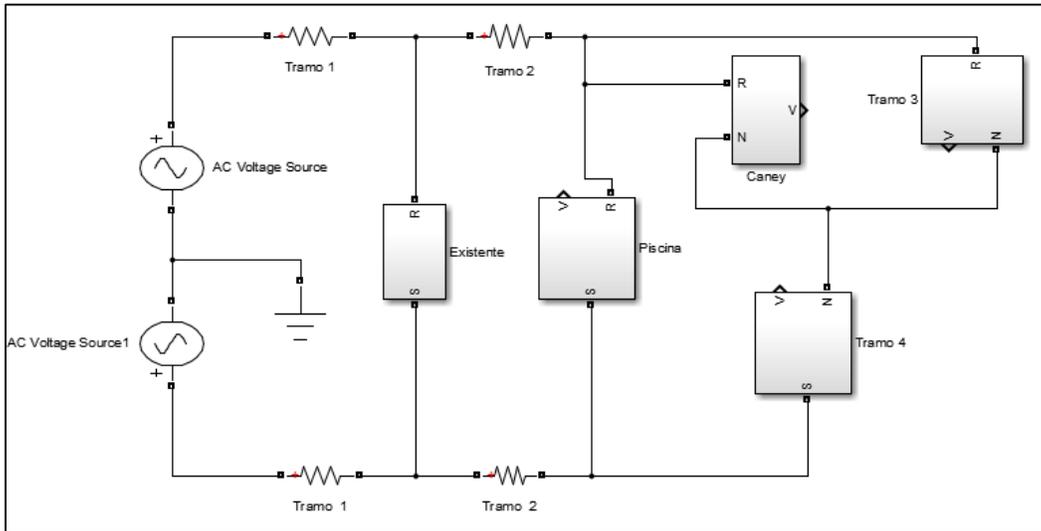


Fig 22. Sistema actual simplificado

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La figura 22 presenta la simulación del sistema general, del sistema eléctrico acorde a la información obtenida y en un escenario de consumo diversificado en la condición máxima de según el histórico de medida para el sistema, en los valores analizados se destaca los niveles de voltaje las cargas ubicadas en los finales de los tramos.

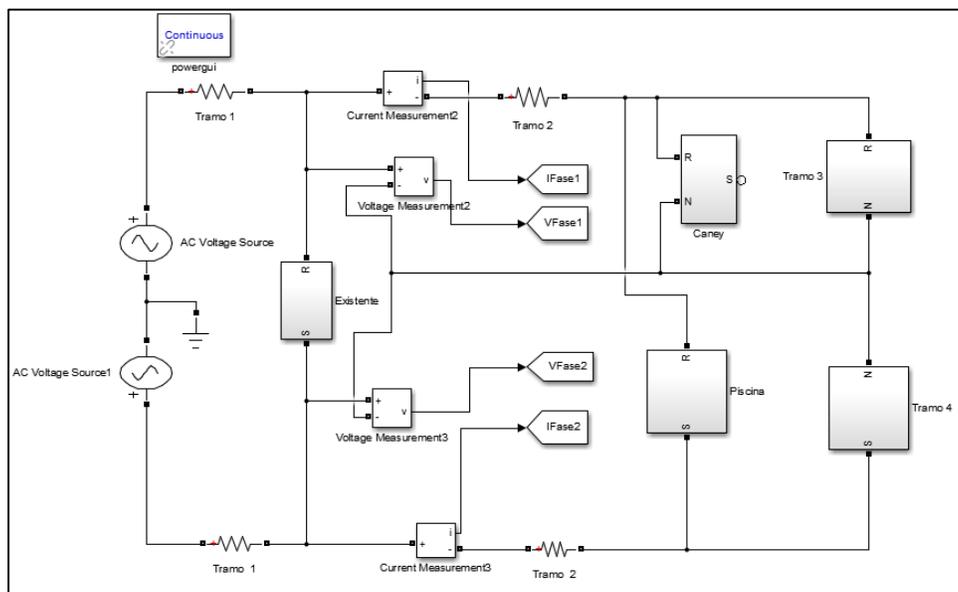


Fig 23. Simulación sistema actual

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La figura 24 presenta los resultados obtenidos de la simulación del sistema actual.

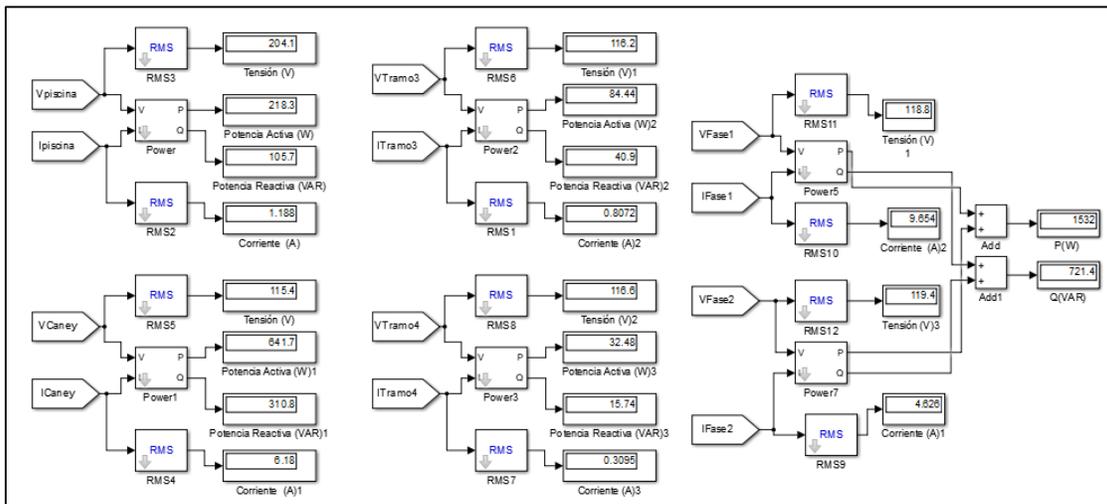


Fig 24. Resultados simulación sistema actual

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La tabla LXV presenta la lectura de la simulación del sistema actual (figura 23), las lecturas de voltaje, corriente y potencia para cada tramo (figura 22), en donde a nivel general se presenta una disminución de voltaje aproximada del 5% en las cargas más lejanas del sistema eléctrico.

TABLA LXV. DATOS SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

DATOS DEL SISTEMA				
	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (I)	P (W)	Q (VAR)
PISCINA	204,1	1,188	218,3	105,7
CANEY	115,4	6,18	641,7	310,8
TRAMO 3	116,2	0,8072	84,44	40,9
TRAMO 4	116,6	0,3095	32,48	15,74
FASE 1	118,8	9,654	1532	721,4
FASE 2	119,4	4,626		

C) Sistema actual con generación fotovoltaica

La ubicación de la fuente de generación fotovoltaica corresponde al área del caney, en donde la demanda de carga es permanente, la disponibilidad de las redes corresponde al nivel de tensión de 220 V; además esta estructura cuenta con un área amplia, lo cual hace propicio la instalación del sistema de generación fotovoltaico, adicionalmente se encuentra cerca al punto de medida reduciendo las pérdidas de conducción en la venta de energía.

La figura 24 presenta el modelo descrito para la simulación del sistema de generación fotovoltaica correspondiente al caney en donde se muestra la conexión del sistema a la red mediante las líneas R y S.

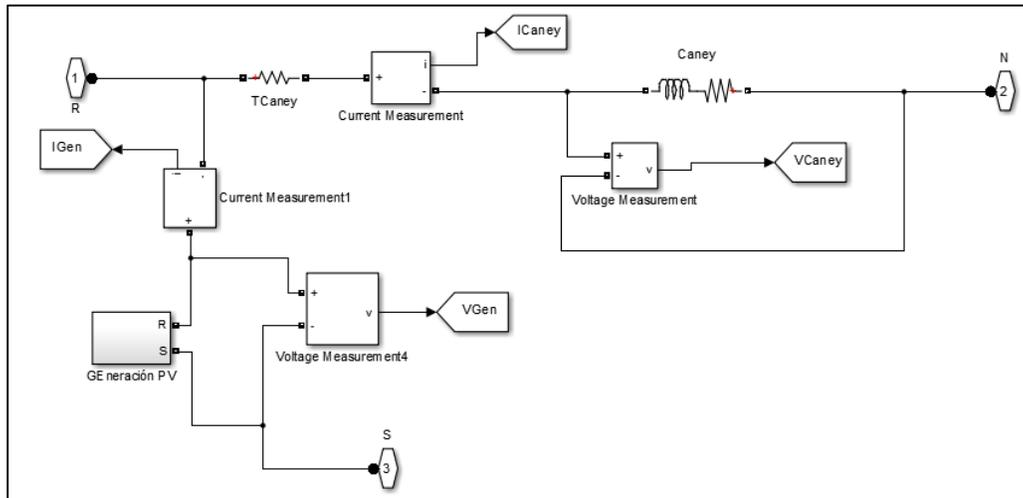


Fig 25. Simulación sistema de generación fotovoltaico

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La figura 25 presenta el sistema de generación bajo la consideración del análisis del armónico fundamental sincronizado con la red eléctrica.

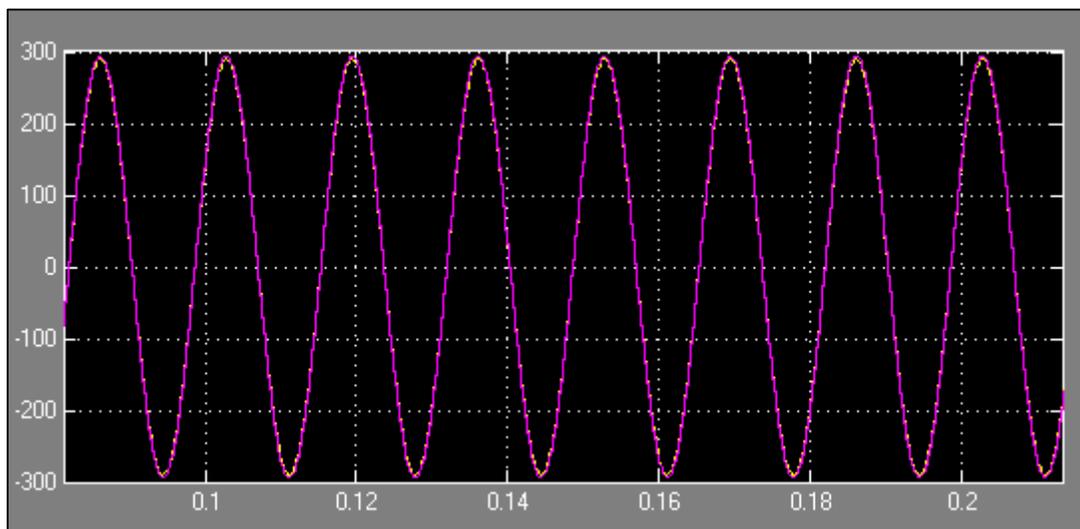


Fig 26. Sincronización del sistema

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La figura 26 presenta la sincronización de los sistemas con la superposición de las formas de onda, de la red eléctrica y el sistema de generación fotovoltaico.

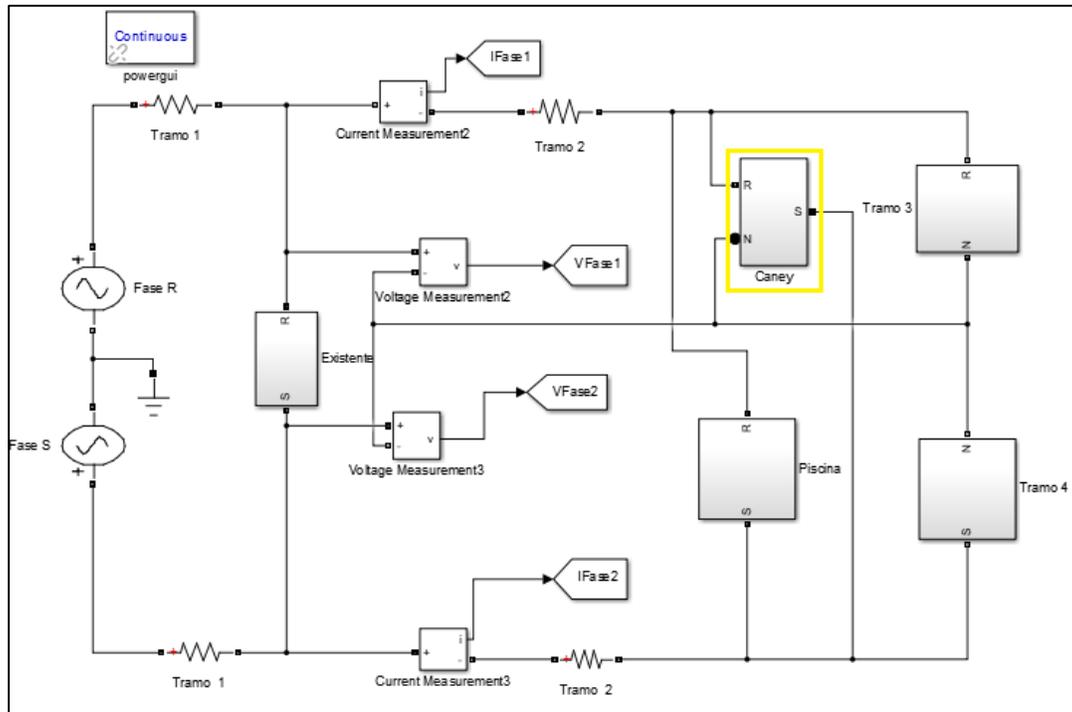


Fig 27. Sistema actual con generación fotovoltaica

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La figura 27 presenta la simulación del sistema actual con generación fotovoltaica.

Al momento de integrar el sistema generación fotovoltaico a la red, debido a condiciones atmosféricas puede presentarse una generación mayor o menor. El valor de potencia generada depende directamente del voltaje aportada por los módulos fotovoltaicos.

1) Sistema con generación fotovoltaica máxima

Como se mencionó anteriormente, el máximo de generación permitida para el presente caso es igual a 1,5 KVA; es decir alrededor de 1350 W.

La tabla LXVI presenta los valores obtenidos en la simulación, es decir, los nuevos datos del sistema con una generación tope o máxima, en donde se puede evidenciar el aumento de los valores

de voltaje de las diferentes secciones del sistema, así mismo la reducción de la potencia demanda por el sistema en general con un valor aproximado al 85%.

TABLA LXVI. DATOS SIMULACIÓN POTENCIA DE GENERACIÓN MÁXIMA

DATOS DEL SISTEMA				
	TENSION (V)	CORRIENTE (I)	P (W)	Q (VAR)
GENERADOR	207,2	8,506	1379	-
PISCINA	207	1,205	224,6	108,8
CANEY	117,2	6,278	662,1	320,7
TRAMO 3	118,1	0,8199	87,13	42,2
TRAMO 4	117,2	0,3113	32,86	15,92
FASE 1	119,3	2,477	179,2	-357,5
FASE 2	119,6	5,42		

La figura 28 ilustra los resultados obtenidos de la simulación del sistema con generación fotovoltaica máxima, a continuación.

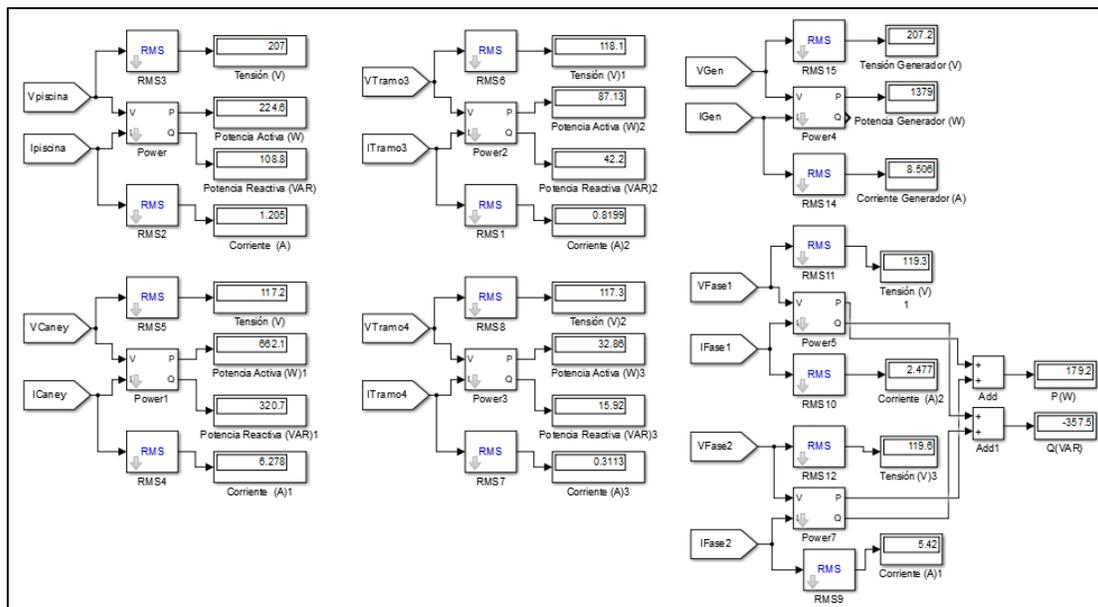


Fig 28. Resultados simulación sistema con generación fotovoltaica máxima

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

2) Sistema con generación fotovoltaica media

A continuación, la figura 28 presenta la simulación del sistema con generación media aproximada.

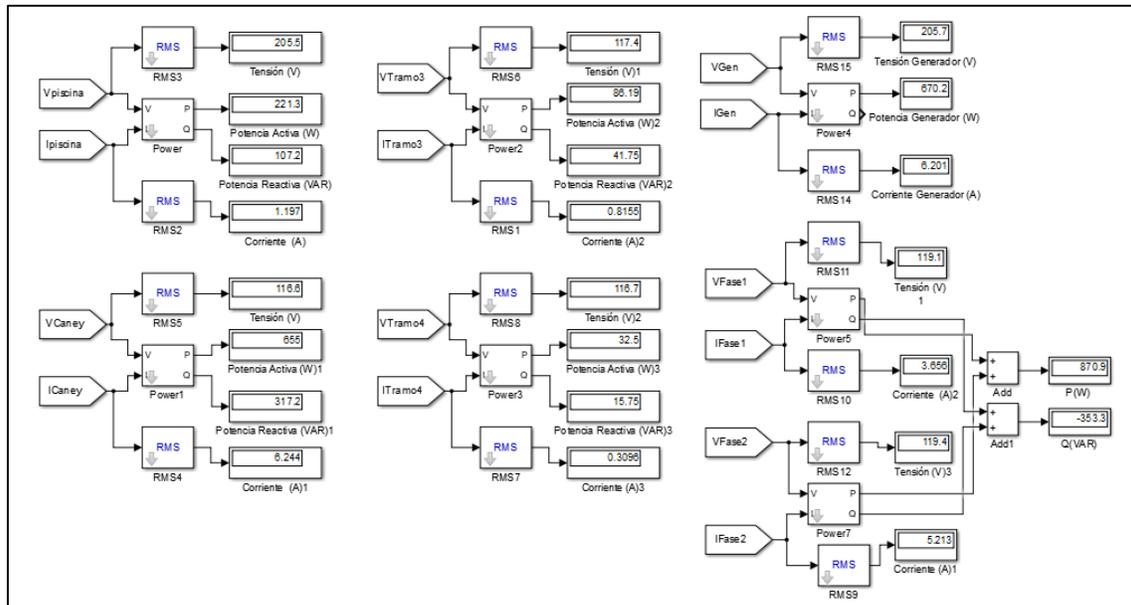


Fig 29. Resultados simulación sistema con generación fotovoltaica media

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La figura 29 presenta los resultados obtenidos de la simulación del sistema con generación fotovoltaica media.

La tabla LXVII presenta los valores numéricos de la simulación con los nuevos datos del sistema con una generación media, en donde se puede evidenciar que los niveles de tensión y corriente en las cargas con un incremento aproximado del 3% en el nivel de tensión.

TABLA LXVII. DATOS SIMULACIÓN POTENCIA DE GENERACIÓN MEDIA

DATOS DEL SISTEMA				
	TENSION (V)	CORRIENTE (I)	P (W)	Q (VAR)
GENERADOR	205,7	6,201	670,2	-
PISCINA	205,5	1,197	221,3	107,2
CANEY	116,6	6,244	655	317,2
TRAMO 3	117,4	0,8155	86,19	41,75
TRAMO 4	116,7	0,3096	32,5	15,75
FASE 1	119,1	3,656	870,9	-353,3
FASE 2	119,4	5,213		

D) Simulación del sistema diseñado

Para la simulación del sistema diseñado se implementó una serie de cambios pertinentes del sistema actual en cuanto a los análisis de regulación de complejo hotelero serranía del viento.

Según la información de las tablas VI y VII, la regulación en los tramos 1 y 2 es aproximadamente 6,38%, por lo cual se sugiere el cambio del conductor 1/0 AWG ACSR TRIPLEX al conductor 4/0 AWG ACSR TRIPLEX; así, la regulación es igual a 3,91% en condiciones de recreación baja o nula. De igual forma se presenta el cambio del conductor correspondiente de los tramos 3 y 4, por un conductor 8 AWG THHN COBRE y un conductor 6 AWG THHN COBRE respectivamente, de donde la regulación para el tramo 3 es igual a 1,33% y para el tramo 4 es igual a 2,134%, ecuación (2). De donde la regulación total correspondiente al tramo 1, 2 y 3 es igual a 5,25% y para los tramos 1, 2 y 4 es igual a 6,051%.

A continuación, la tabla LXVIII presenta los nuevos valores de las impedancias de línea para los tramos 1, 2, 3 y 4.

TABLA LXVIII. IMPEDANCIAS DE LÍNEA

IMPEDANCIAS DE LÍNEA			
TRAMO	L(KM)	RFÁBRICA(Ω/Km)	R(Ω)
C1	0,058	2,56	0,148
C2	0,082	2,56	0,209
C3	0,038	2,56	0,096
C4	0,088	1,61	0,142
C5	0,050	1,61	0,081
C6	0,048	1,61	0,076
C7	0,036	1,61	0,058
PARQUEADERO	0,041	1,61	0,066
PISCINA	0,018	2,56	0,046
CANEY	0,089	2,56	0,227
1	0,082	0,329	0,027
2	0,261	0,329	0,086

Según la información de la tabla XL la generación aproximada generada con 4 módulos es 1,25 KVA (1,125 KW). A continuación, en la figura 30 se presentan los valores de la simulación del sistema diseñado.

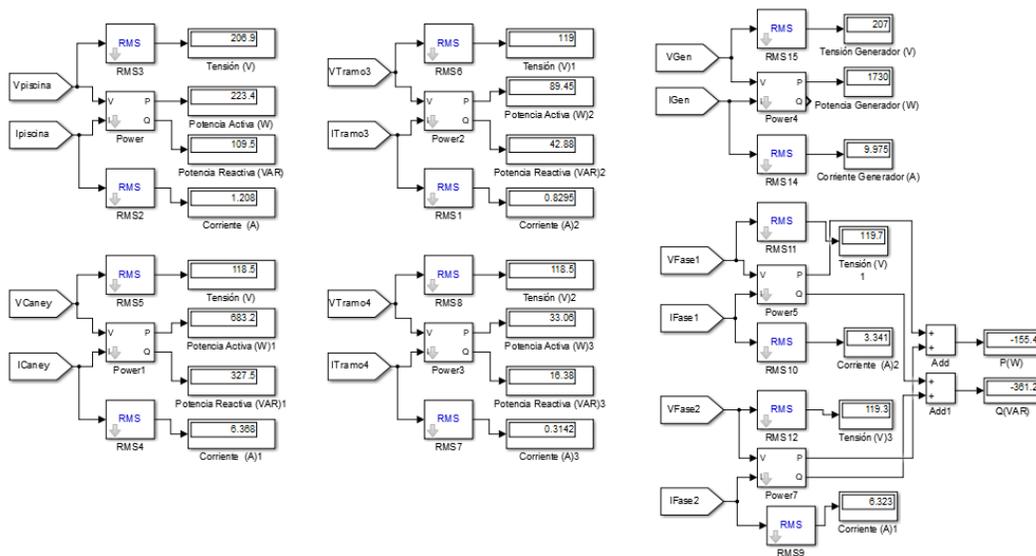


Fig 30. Resultados simulación sistema diseñado

Fuente: Autor utilizando el software Matlab

La tabla LXIX presenta los datos de la simulación del sistema diseñado en donde se evidencia un incremento aproximado de voltaje del 2% con respecto al sistema actual.

TABLA LXIX. DATOS SIMULACIÓN SISTEMA DISEÑADO

DATOS DEL SISTEMA DISEÑADO				
	TENSION (V)	CORRIENTE (I)	P (W)	Q (VAR)
GENERADOR	207	9,975	1730	-
PISCINA	206,9	1,208	223,4	109,5
CANEY	118,5	6,368	683,2	327,5
TRAMO 3	119	0,829	89,45	42,88
TRAMO 4	118,5	0,314	33,06	16,38
FASE 1	119,7	3,341	-155,4	-361,2
FASE 2	119,3	6,323	-155,4	-361,2

En la tabla LXIX se presenta la información de los datos de la simulación, de donde se observa que el sistema de generación fotovoltaico es capaz de suplir el total de la demanda energética del complejo hotelero, y además presenta un excedente de energía mensual aproximado de 54,079KWh.

TABLA 70. ANÁLISIS ECONÓMICO

POTENCIA GENERADA - TIEMPO

(KW/hora)	0,1554
(KW/día Solar)	1,802
(KW/Mes)	54,079

La tabla LXX presenta la energía que entrega el sistema después de suplir la totalidad de la carga demandada por el complejo hotelero, de donde se obtiene un precio estimado de venta de esta energía igual a 21.200 pesos.

Para el siguiente caso se supone la venta en su totalidad de la energía generada al sistema nacional para así analizar un retorno de la inversión proyectada para el proyecto. A continuación, la tabla LXXII presenta la potencia generada al mes, según la generación hora aproximada de energía (1730W).

TABLA 71I. POTENCIA GENERADA

POTENCIA GENERADA - TIEMPO

(KW/hora)	1,730
(KW/día Solar)	20,068
(KW/Mes)	602,04

Según la información presentada en la tabla LXXI, la potencia generada al mes es de 602,04KW/h.

TABLA 72. PRECIO APROXIMADO VENTA EXCEDENTES

PRECIO APROXIMADO VENTA EXCEDENTES

Precio Promedio Diario (\$/KWh)	\$ 391,78
Mes (KW/h)	602,04
Precio Promedio Venta-Mes (\$/KWh)	\$ 235.867

La tabla LXXII presenta el precio de la venta de excedentes, con un valor aproximado de \$235.867 pesos, considerando el factor beneficios cero, de donde según la ecuación 19, la inversión total (tabla LIX) se recupera en un tiempo aproximado de 3,9 años.

VIII CONCLUSIONES

- Se realizó el cumplimiento de los objetivos propuestos obteniendo como resultado el diseño de un sistema de generación fotovoltaico para el complejo hotelero serranía del viento de Barichara.
- Al realizar los análisis económicos se evidenció que los sistemas fotovoltaicos autónomos no son viables económicamente en zonas que cuenten con un sistema de distribución de energía, ya que representan una inversión elevada con un tiempo de retorno muy grande, sin embargo, un sistema de generación fotovoltaicos conectados a la red es rentable debido a la reducción de la inversión en dispositivos de implementación, la disminución de compra de energía y la venta de la misma al sistema interconectado nacional.
- Aunque la normativa colombiana establece los límites de la cantidad energía generada, se evidenció que un sistema fotovoltaico conectado a la red pequeño, con una inversión baja puede cubrir una gran demanda de energía, además de corregir problemas en la red relacionados con la calidad de la energía.
- Las tasas de retorno para un sistema de generación fotovoltaico varían según la inversión en relación al tipo de sistema a implementar, concluyendo así que los sistemas de generación autónomos presentan viabilidad en zonas de difícil acceso o no conectadas al sistema de distribución nacional.
- En la simulación del sistema diseñado se evidenció el aumento de los niveles de tensión en las cargas del complejo hotelero, esto debido a el aporte de energía que realiza el sistema de generación fotovoltaico en conexión con la red, disminuyendo las pérdidas de energía; de igual manera se realizó el cambio del conductor de la acometida principal y algunos ramales con el propósito de cumplir los estándares de diseño de la regulación.

- Los beneficios económicos del sistema de generación fotovoltaico diseñado son elevados, ya que, según los análisis presentados, el sistema tiene la capacidad de suplir la totalidad de la energía demandada por el complejo hotelero Serranía del Viento; es decir la reducción del pago por consumo de energía al operador de red, por un plazo de tiempo estimado en función del mantenimiento y vida útil de los equipos.

REFERENCIAS

- [1] A. Castejon, “Instalaciones Solares Fotovoltaicas - Castejón & Santamaría.” p. 228, 2010.
- [2] S. E. S. A, “Libro Blanco de las Energías Renovables,” 2018.
- [3] E. V. de la Energía, “La energía solar fotovoltaica en el País Vasco,” 2000.
- [4] O. P. Lamigueiro, “Energía Solar Fotovoltaica,” 2018.
- [5] A. Technology, “Energía solar,” ABB Rev., 2015.
- [6] C. de R. de E. y G. Ministerio de Minas y Energía, “RESOLUCIÓN No. 030 2018,” 2018.
- [7] M. A. Abella, “Master en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial Sistemas Fotovoltaicos,” pp. 1–59.
- [8] D. A. Cano, Sistema fotovoltaico conectado a red orientado a autoconsumo ubicado en el edificio de laboratorios de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Bogotá - Colombia). 2016.
- [9] S. Cortés and A. Arango, “Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía,” Rev. Ciencias Estratégicas, vol. 25, no. 38, pp. 375–390, 2017.
- [10] Y. Garzón and F. Tunarosa., “Smart Grids y generación distribuida en Colombia Smart Grids and distributed generation in Colombia,” Vínculos, vol. 10, pp. 303–310, 2013.
- [11] Jency V. Ramírez - Nelson A. Mantilla, “diseño de un sistema de energía alternativa solar para conectar los servicios auxiliares de corriente continua en cinco (5) subestaciones eléctricas de CODENSA s.a. esp. en Bogotá,” Univ. Dist. Fr. JOSÉ CALDAS, vol. 6, no. 5, pp. 5–9, 2017.
- [12] M. Fernando, C. Quiroz, C. Julio, and T. Laitón, “Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas,” pp. 1–42, 2016.
- [13] C. Ramírez, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1,” p. 24, 2008.
- [14] 9. Spencer, J. W. Fourier Series Representation of the Position of the Sun. Search 2(5), 172p, 1971.