

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

Análisis técnico-económico de un sistema de generación híbrido para la alimentación del alumbrado público de la Universidad Técnica del Norte

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Autor:

Bryan Paúl Huertas Rosero

Tutor:

Ing. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano, PhD

Ibarra – Ecuador

2021

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100373435-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	HUERTAS ROSERO BRYAN PAÚL		
DIRECCIÓN:	LA FLORIDA CALLE LOS TULIPANES Y RETAMAS		
EMAIL:	bphuertasr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0967050867

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis técnico-económico de un sistema de generación híbrido para la alimentación del alumbrado público de la Universidad Técnica del Norte
AUTOR:	HUERTAS ROSERO BRYAN PAÚL
FECHA: AAAMDD	2022-04-18
SOLO PARA TRABAJO DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
ASESOR /DIRECTOR	Ing. GERARDO ISAÍAS COLLAGUAZO GALEANO, PhD



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de abril de 2022

EL AUTOR:

(Firma) 

Nombre: Bryan Paúl Huertas Rosero

C.C.: 100373435-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Gerardo Collaguazo PhD.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Huertas Rosero Bryan Paúl certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: "ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO PARA LA ALIMENTACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE" para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

PhD Gerardo Collaguazo

DIRECTOR DE TESIS

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
A.1 Contextualización.....	XII
A.2 Planteamiento del problema	XIII
A.3 Objetivo general.....	XIV
A.4 Objetivos específicos.....	XIV
A.5 Justificación.....	XIV
A.6 Alcance	XV
Capítulo I Sistemas de generación de energía eléctrica híbridos	1
1.1 Sistemas de generación híbridos.....	1
1.1.1 Sistema de generación híbridos autónomos.....	1
1.1.2 Sistema de generación híbridos conectados a la red.....	2
1.2 Sistema de generación fotovoltaico.....	2
1.2.1 Componentes principales de un sistema de generación fotovoltaico	2
1.2.2 Sistema de generación fotovoltaico aislado.....	4
1.2.3 Sistema de generación fotovoltaico conectado a la red	5
1.3 Sistema de generación eólico.....	5
1.3.1 Componentes principales de un sistema de generación eólico.....	6
1.3.2 Sistema de generación eólico aislado	7
1.3.3 Sistema de generación eólico conectado a la red	7
1.4 Grupo electrógeno	8
1.5 Sistemas de acumulación de energía y de carga.....	9
1.5.1 Baterías.....	10
1.5.2 Reguladores de carga	12
1.5.3 Inversores	12
1.5.4 Barras colectoras	13
1.6 Configuraciones de los sistemas híbridos de generación de energía	14
1.6.1 Configuración híbrida fotovoltaica-grupo electrógeno.....	15
1.6.2 Configuración híbrida eólica-grupo electrógeno.....	16
Capítulo II Dimensionamiento del sistema de generación híbrido	17
2.1 Descripción del lugar de estudio	17
2.2 Metodología	18

2.3	Descripción de materiales	20
2.3.1	Características del grupo electrógeno.....	20
2.3.2	Información de recurso energético renovable existente en el campus.....	20
2.3.3	Ecuaciones necesarias para el dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico.	21
2.4	Determinación de parámetros de consumo	24
2.5	Determinación de parámetros de funcionamiento	25
2.6	Evaluación de recursos energéticos renovables del campus Universidad Técnica del Norte	26
2.6.1	Evaluación de recurso energético solar	26
2.6.2	Evaluación de recurso energético eólico.....	27
2.6.3	Selección de recurso energético renovable con el cual dimensionar la planta de generación híbrida.....	28
2.7	Dimensionamiento del sistema de acople híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno	29
2.7.1	Selección de sistemas de barras AC, DC o mixtas	29
2.7.2	Dimensionamiento del número de paneles fotovoltaicos	30
2.7.3	Dimensionamiento del acumulador de carga	31
2.7.4	Dimensionamiento del regulador de carga.....	31
2.7.5	Dimensionamiento del inversor.	32
2.7.6	Dimensionamiento de los conductores.....	32
2.7.7	Dimensionamiento de las protecciones.	35
2.7.8	Dimensionamiento de la puesta a tierra.	36
2.8	Determinación del consumo del grupo electrógeno.....	36
2.9	Resultados del dimensionamiento del sistema híbrido	37
2.10	Diseño del sistema de generación híbrido	38
Capítulo III Análisis económico.....		39
3.1	Parámetros para evaluar la viabilidad económica del proyecto	39
3.1.1	Costo de inversión inicial.....	39
3.1.2	Costo nivelado de energía (LCOE)	39
3.1.3	Costo de operación y mantenimiento.....	40
3.1.4	Flujo de caja.....	40
3.1.5	Valor actual neto (VAN).....	40
3.1.6	Tasa interna de retorno (TIR)	40
3.1.7	Periodo de recuperación de inversión (PRI).....	41
3.2	Análisis económico	41
3.2.1	Cálculo de inversión inicial del sistema de generación fotovoltaico.....	41
3.2.2	Cálculo de costo nivelado de energía (LCOE)	45

3.2.3	Cálculo de flujo de caja.....	47
3.2.3	Cálculo de indicadores financieros.....	49
3.2.4	Cálculo de periodo de recuperación de la inversión	50
3.1	Resultados de análisis económico.....	52
	Conclusiones.....	54
	Recomendaciones.....	55
	REFERENCIAS.....	56
	ANEXOS.....	61
A.	Especificaciones panel fotovoltaico	61
B.	Cálculo de número de paneles fotovoltaicos.....	61
C.	Especificaciones batería	62
D.	Cálculo de dimensionamiento de acumulador de carga.....	63
E.	Cálculo de dimensionamiento de regulador de carga	64
F.	Especificaciones inversor	64
G.	Cálculo de conductores	65
H.	Cálculo de protecciones	69
I.	Cálculo de consumo de combustible del grupo electrógeno a diferentes potencias	69
J.	Diseño del sistema de generación híbrido FV-grupo electrógeno	71
K.	Cotizaciones.....	72
L.	Cálculo de transporte e impuestos	74
M.	Costos de sustitución.....	75
N.	Cálculo de indicadores financieros, flujo de caja, VAN, TIR	77
O.	Cálculo de tiempo de recuperación de la inversión para cada escenario.....	81
P.	Cálculo emanaciones de emanaciones de CO2 para cada escenario.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema sistema fotovoltaico aislado	4
Figura 2. Esquema sistema fotovoltaico conectado a la red	5
Figura 3. Partes que constituyen un grupo electrógeno.....	9
Figura 4 Esquema de sistema híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno.....	15
Figura 5 Campus Universidad Técnica del Norte.....	17
Figura 6 Diagrama de flujo de la metodología aplicada	19
Figura 7 Diagrama de flujo de la estructura de la planta de generación híbrida FV-grupo electrógeno	21
Figura 8 Radiación solar diaria desde febrero hasta julio del 2019.....	27
Figura 9 Velocidad del viento del campus UTN.....	27
Figura 10 Dirección del viento del campus UTN	28
Figura 11 Costo de producción de energía en USD/kWh	47
Figura 12 Flujograma escenario 1	48
Figura 13 Flujograma escenario 2	48
Figura 14 Flujograma escenario 3	49
Figura 15 Periodo de recuperación de la inversión del Escenario 1	51
Figura 16 Periodo de recuperación de la inversión del Escenario 2	51
Figura 17 Periodo de recuperación de la inversión del Escenario 3	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Recurso energético renovable existente en el campus del olivo UTN	20
Tabla 2 Energía diaria por suministrar en los distintos escenarios planteados.....	25
Tabla 3 Estimadores estadísticos de radiación solar mensuales	26
Tabla 4 Conductores dimensionados Escenario 1	32
Tabla 5 Conductores dimensionados Escenario 2.....	33
Tabla 6 Conductores dimensionados Escenario 3.....	34
Tabla 7 Consumo de combustible del grupo electrógeno de 450 kVA	36
Tabla 8 Resultados del dimensionamiento del sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno.....	37
Tabla 9 Inversión inicial del sistema de generación fotovoltaico	42
Tabla 10 Costos de transporte e impuestos.....	44
Tabla 11 Resumen de costos totales de las plantas fotovoltaicas para los tres escenarios planteados	44
Tabla 12 Parámetros para determinar la viabilidad económica del sistema de generación híbrido.....	45
Tabla 13 Valores de costo nivelado de la energía (LCOE) para los tres escenarios	46

RESUMEN

Los sistemas de generación eléctrica mediante las energías renovables en su mayoría son tomadas como apoyo para incrementar la potencia de la red de distribución más no como fuente principal debido a que presentan varios inconvenientes, entre ellos están sus elevados costos, sin embargo, presentan también grandes ventajas ambientales principalmente que no emanan dióxido de carbono. La Universidad Técnica del Norte depende de sistemas convencionales de generación de energía contribuyendo así a la emanación de dióxido de carbono en el ambiente, como medidas para contribuir con el ambiente se pueden implementar sistemas de generación renovable. El presente trabajo realiza un estudio de factibilidad técnica-económica para la implementación de un sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno para el sistema de alumbrado público del campus, presentando tres escenarios de funcionamiento, esto como una solución e impulso a que parte del campus sea autosustentable. El estudio se basa en el análisis de los recursos energéticos existentes en el campus, análisis de información para establecer parámetros técnicos y económicos para determinar la viabilidad del proyecto de manera técnica y económica. El estudio da como resultado que el recurso solar es el más idóneo técnicamente para implementar en una planta de generación eléctrica, debido a que este recurso tiene un rango de radiación entre 4.48 – 6.71 kWh/m². En el análisis económico se demostró que la implementación del sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno es económicamente viable debido a que indicadores como el valor presente neto (VAN) es positivo y la tasa interna de retorno (TIR) es mayor que la tasa referencial. Se demuestra también que el costo nivelado de energía para los dos primeros escenarios es de 0.36 USD/kWh y de 0.38 USD/kWh para el tercer escenario, costos que son elevados en comparación con los costos de producción de energía convencionales como el del grupo electrógeno que es de 0.07 USD/kWh.

Palabras claves: Sistema de generación híbrido, sistema fotovoltaico, recursos energéticos renovables, dimensionamiento, factibilidad económica.

ABSTRACT

Electricity generation systems through renewable energies are mostly taken as support to increase the power of the distribution network but not as the main source because these present several drawbacks, among them are their high costs, however, they also present great environmental advantages mainly that these do not emit carbon dioxide. The "Técnica del Norte" University depends on conventional energy generation systems, thus contributing to the emission of carbon dioxide in the environment. The present work carries out a technical-economic feasibility study for the implementation of a photovoltaic-generator group hybrid generation system for the campus public lighting system, presenting three operating scenarios, this as a solution and impulse to make part of the campus self-sustaining. The study is based on the analysis of existing energy resources on campus, analysis of information to establish technical and economic parameters to determine the viability of the project technically and economically. The study gives as a result that the solar resource is the most technically appropriate to implement in a power generation plant, because this resource has a radiation range between 4.48 - 6.71 kWh/m². In the economic analysis, it was shown that the implementation of the hybrid photovoltaic generator set generation system is economically viable because indicators such as the net present value (NPV) is positive, and the internal rate of return (IRR) is greater than the reference rate. It is also shown that the levelized cost of energy for the first two scenarios is 0.36 USD/kWh and 0.38 USD/kWh for the third scenario, costs that are high compared to the production costs of conventional energy such as the generator set that it is \$0.07 USD/kWh.

Keywords: Hybrid generation system, photovoltaic system, renewable energy resources, dimensioning, economic feasibility.

INTRODUCCIÓN

A.1 Contextualización

En la actualidad es común el uso de la energía eléctrica, desde la utilización de electrodomésticos sencillos de uso cotidiano hasta máquinas industriales de gran potencia, es importante entender que toda la energía usada tiene que provenir de algún lugar. Hoy la mayor parte de la electricidad es generada por fuentes finitas, es decir agotables y causando un impacto ambiental, siendo esta razón un motivo para explorar formas alternativas de energía (Jarauta, 2010; Politécnico Grancolombiano, 2007)

La energía eléctrica puede ser generada por varias fuentes, separadas en dos grandes grupos que son la energía renovable y la energía no renovable. La energía renovable puede ser hidráulica, eólica, fotovoltaica, biomasa, biogás, etc.

Una instalación fotovoltaica está estructurada por los paneles solares, inversores, reguladores de carga, con o sin baterías o sistema acumuladores y conectada o no a la red eléctrica. En el tipo de instalaciones sin baterías la energía es consumida en el instante en que se genera. Una instalación fotovoltaica aislada simplificada está estructurada por los paneles solares, regulador, baterías, inversor y por lo general un generador como complemento para evitar así contingencias, en la mayoría de los casos estas instalaciones son de baja potencia. (Tituaña, 2016; Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, 2008; Rújula, 2009).

La mayoría de las energías renovables tienen varios inconvenientes, uno de sus principales es su intermitencia, por ejemplo, en el caso de la energía eólica depende de las corrientes de viento producidas, por tanto, es necesario que estén apoyadas por otro tipo de generadoras. La generación con fuentes renovables no se puede controlar cuando operan ya que, esto depende de la disponibilidad del recurso natural como tal. (Interconsulting Bureau S.L., 2016; Sauma, 2015)

A diferencia de las energías renovables, las energías no renovables tienen una generación ininterrumpida, haciendo que este tipo de energías sean más confiables a la hora de utilizarlas, además de usar tecnologías más tradicionales y por ende más económicas en su montaje ya que, los aerogeneradores o paneles solares tienen un costo elevado. (Font, 2020)

Respecto a los costos por kWh producidos a partir de costos de instalación, las energías no convencionales son más caras que las convencionales, la energía hidráulica cuesta alrededor de 6ctvs por kWh, la energía por combustibles fósiles alrededor de 7ctvs de dólar

por kWh, la energía eólica alrededor de 9ctvs de dólar por kWh, mientras que la energía fotovoltaica cuesta el rededor de 13ctvs de dólar por kWh, siendo esta la más cara de producir (CONELEC, 2006; INGENIUS, 2018)

Se han reglamentado en muchos sitios que un sistema fotovoltaico o eólico conectado a la red tiene un objetivo principal que es el de incrementar la producción de electricidad evitando la contaminación al ambiente, esto debido al problema de la intermitencia. (Interconsulting Bureau S.L., 2016) (Velasco, 2012)

En Ecuador el 60.75% es de energía renovable, destacándose la energía hidráulica con un 58.45%, la energía fotovoltaica tiene un 0.32%, la energía eólica tiene un 0.24%, la de biomasa tiene un 1.66% y la energía de biogás tiene un 0.08% del total de la energía generada en el país, como ya se mencionó esta energía renovable generada es intermitente puesto que depende de factores como las corrientes de viento, el caudal del agua, etc. (Agencia de regulación y control de electricidad, 2020)

Como medida para precautelar por el medio ambiente, el estado ecuatoriano fomenta el desarrollo y uso de las energías renovables a través de incentivos tributarios, exonerando el pago de aranceles e impuestos adicionales para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados al uso de energía solar, eólico, geotérmico, biomasa y otras. Con estos incentivos el estado garantiza la protección hacia la naturaleza, así como su sostenibilidad según el tercer objetivo del plan de desarrollo nacional que señala: "*Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones*". (Loachamin, 2016; CNP, 2017)

A.2 Planteamiento del problema

Actualmente las energías renovables en su mayoría son tomadas como apoyo para incrementar la potencia de la red de distribución, debido a que este tipo de energías tienen varias desventajas, el más importante es que no se puede usar de manera continua ya que, no se puede operar una generadora de energía renovable siempre, esto va a depender de factores como la radiación solar en plantas fotovoltaicas y velocidad del viento en plantas eólicas, haciendo que su funcionamiento y su uso sea intermitente.

La generación renovable en comparación con otro tipo de generación más tradicional como los grupos electrógenos tiene varias desventajas, en su montaje tiene un costo mayor debido a que los aerogeneradores y paneles solares además, del resto de componentes que comprenden estas plantas son de un costo elevado, haciendo que el valor en USD/kWh sea de una planta fotovoltaica de alrededor de 0.13 , una planta eólica alrededor de 0.09 , sin

embargo en un grupo electrógeno esta alrededor de 0.07 debido al consumo de combustible aunque en su implementación no tiene un costo tan elevado. (CONELEC, 2006; INGENIUS, 2018)

La confiabilidad en su funcionamiento es un punto débil de las energías renovables muy importante ya que, no puede operar de manera continua, por otro lado, la generación con grupos electrógenos se puede utilizar de manera ininterrumpida, sin embargo, ya que, estos generadores trabajan con combustibles fósiles generan una gran cantidad de contaminación al emitir dióxido de carbono al ambiente cuando el combustible es quemado.

El consumo de energía eléctrica en la Universidad Técnica del Norte es alto, tomando en cuenta que solamente del alumbrado público se consumen alrededor de 400 kW, este alumbrado funciona en su máxima capacidad de 6:30pm a 10pm y de 10pm a 6am funciona solo al 50% de su capacidad.

A.3 Objetivo general

Realizar el análisis técnico-económico de un sistema híbrido para la alimentación del alumbrado público de la UTN, mediante el estudio de tres escenarios de funcionamiento que permita la selección de una alternativa viable

A.4 Objetivos específicos

- Analizar la estructura de los sistemas de generación híbridos
- Dimensionar el sistema de generación híbrido
- Realizar el análisis económico y selección de la opción económica viable

A.5 Justificación

En la actualidad se ha hecho cotidiano el uso de la energía eléctrica para cualquier tipo de tarea, desde tareas básicas con electrodomésticos en el hogar hasta procesos industriales. Además, en los últimos años, debido a la contaminación ambiental producida por la utilización de los combustibles fósiles en la generación eléctrica (carbón natural, gas, petróleo), las energías renovables se han desarrollado de manera vertiginosa. En este contexto, el desarrollo de proyectos e investigaciones que impliquen a las energías renovables en países en desarrollo como el nuestro, presentan interés técnico-científico.

Una planta de generación netamente renovable, además no tener confiabilidad tienen precios elevados en su implementación por la tecnología de todo su sistema, al hacer el

sistema híbrido se aumentaría la confiabilidad, se aprovecharía la energía renovable y se reducirían costos de implementación.

En Ecuador se fomenta el uso y desarrollo de energías renovables mediante incentivos tributarios, exonerando el pago de aranceles e impuestos adicionales en investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas de energía renovable de cualquier tipo, todo esto acorde con el tercer objetivo del plan de desarrollo nacional 2017-2021 que señala: *“Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”*. (Loachamin, 2016) (Consejo Nacional de Planificación, 2017)

A.6 Alcance

La generación de energía eléctrica se puede realizar mediante la utilización de distintos sistemas teniendo en cuenta los beneficios de un sistema híbrido, se pretende realizar el análisis técnico-económico de un sistema de generación híbrido, sea fotovoltaico-grupo electrógeno o eólico-grupo electrógeno en función del recurso energético disponible y configuración viable seleccionada desde el punto de vista técnico. El sistema servirá para la alimentación del alumbrado público del campus El Olivo de la Universidad Técnica del Norte considerando tres escenarios: (70-30) %, (50-50) % y (30-70) % energía renovable-grupo electrógeno, respectivamente. Con base a estos tres escenarios se realizará en análisis económico. La universidad posee un grupo electrógeno de 450 kVA que es con el que se trabajará y la potencia del alumbrado público es de alrededor de 400 kW.

Capítulo I Sistemas de generación de energía eléctrica híbridos

1.1 Sistemas de generación híbridos

Los sistemas que integran dos o más fuentes de generación, renovables o convencionales, son denominados Sistemas Híbridos de Generación de Energía (Cassula, Prado, Silveira, & Roberts, 2017) . Por lo general estos sistemas están compuestos por fuentes de energías renovables y complementados por sistemas de generación convencionales como fósiles, sin embargo, también el sistema puede estar conformado simplemente por sistemas de generación renovable. (Granados, 2019)

El sistema de generación híbrido está estructurado por al menos dos distintos tipos de generación que podrían ser las distintas combinaciones entre fotovoltaico, eólico y grupo electrógeno, se combinan para aprovechar las ventajas de las diferentes fuentes. (Forero, Valencia, & Sierra, 2016). La generación convencional mediante combustibles fósiles suele ser muy habitual para garantizar la continuidad de servicio. (Granados, 2019)

Actualmente los distintos tipos de generación pueden trabajar en conjunto mediante un sistema de control y pueden o no incluir un sistema de baterías. (Granados, 2019) Los sistemas de generación híbrida se han convertido en una forma de generar energía sostenible en el mundo moderno (Al-Tameemi, Latif, & Abass, 2018)

Uno de los problemas más trascendentales en la generación con energías renovables es su intermitencia, ya que, esta depende de varios factores ambientales, no obstante, con la integración de distintos tipos de sistemas de generación va aumentando la confiabilidad de la planta ya que, si por ejemplo el sistema está integrado por generación eólica y fotovoltaica se puede suplir la escasez de alguno de estos dos recursos con la generación a través del otro, es decir si el día está nublado se puede generar energía a través del viento.

1.1.1 Sistema de generación híbridos autónomos

Los sistemas de generación híbridos son llamados autónomos cuando son aislados, es decir operan sin estar conectados a la red de distribución eléctrica, estos sistemas están estrictamente dotados por un banco de almacenamiento de energía para asegurar su autonomía. Para garantizar la continuidad de suministro eléctrico en la mayoría de los casos se incluyen baterías con una capacidad de almacenamiento que es capaz de abastecer la demanda energética cuando las fuentes de generación principales no proporcionan energía suficiente. (Granados, 2019)

1.1.2 Sistema de generación híbridos conectados a la red

Como su nombre indica este sistema de generación híbrido opera conectado a la red por lo que no es estrictamente necesario de ningún sistema de almacenamiento para asegurar la continuidad del servicio eléctrico. (Granados, 2019) Por lo general este tipo de sistemas son para autoconsumo para reducir parcialmente el consumo mensual de energía de la red de distribución, depender netamente del sistema de generación híbrido o en algunos casos inyectar excedentes de energía a la red para venderla. (Cassula, Prado, Silveira, & Roberts, 2017) . Como medida para aprovechar la generación renovable y reducir costos de combustibles fósiles se recomienda usar un sistema de almacenamiento.

1.2 Sistema de generación fotovoltaico

El sistema de generación fotovoltaico se basa en el aprovechamiento de la luz e irradiación solar proveniente del sol, captadas por paneles solares que convierten la energía solar en eléctrica bajo el principio del efecto de las células fotovoltaicas. (Ocampo, 2019)

El efecto fotovoltaico es la conversión de la energía que proviene del sol en energía eléctrica, para esto se utilizan células solares que son dispositivos constituidos por materiales semiconductores en los que mediante la unión p-n se crea un campo eléctrico constante. (Guevara & Gil, 2016)

La energía solar generada a partir de sistemas fotovoltaicos depende de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, energía solar, irradiancia y otras variables climáticas como la temperatura, humedad, velocidad del viento y nubosidad (Fahmy & Nabih, 2016). Idealmente no debe existir el efecto de las sombras originadas por estructuras cercanas a los módulos fotovoltaicos, si no se considera esto cuando se colocan los módulos fotovoltaicos se verá afectado la producción de energía solar en determinadas horas. (Granados, 2019)

Los sistemas de generación fotovoltaicos son más relevantes actualmente debido a que es una energía limpia y su funcionamiento tiene una fuente inagotable como es el sol. La generación fotovoltaica es de gran relevancia ya que, es una opción para suplir a la generación convencional que genera contaminación y funciona con recursos finitos.

1.2.1 Componentes principales de un sistema de generación fotovoltaico

Los componentes principales que conforman a un sistema de generación fotovoltaico son: panel fotovoltaico, inversor, regulador y baterías.

Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico también conocido como módulos fotovoltaicos o colectores solares es una asociación de células a las que protege físicamente de la intemperie y aísla eléctricamente del exterior, dando rigidez mecánica al conjunto. (Perpiñan, 2020) Es necesario conectar células fotovoltaicas en serio y paralelo para entregar el voltaje y corriente adecuados. (REDVET, 2016)

Las células solares son dispositivos basados en la unión p-n, son láminas formadas por lo general de silicio, la unión p-n es la que hace posible que exista un campo eléctrico en la célula. El campo eléctrico de la unión conduce los portadores generados por esta interacción y dificulta la recombinación. Esta corriente denominada fotocorriente es aprovechada en circuitos externos. (Perpiñan, 2020)

Inversor

Los inversores son dispositivos de electrónica de potencia, este sirve para conectar los paneles fotovoltaicos con las cargas eléctricas o con la red eléctrica para poder consumir la energía generada, estos equipos convierten la corriente continua en corriente alterna. (González, 2019) Las plantas de generación fotovoltaica necesitan de un inversor para consumir la energía producida en corriente alterna ya que, los paneles solares generan energía en corriente continua. (Ocampo, 2019).

Regulador

El regulador es un dispositivo electrónico que está diseñado para controlar el nivel de voltaje que proporcionan los paneles fotovoltaicos, además de esto también controlan la carga que se le suministran a las baterías para evitar sobrecargas. Este dispositivo mediante la conexión y desconexión de la alimentación de las baterías se encarga de que estas no sufran daño por sobrecarga, además de mantener un nivel de voltaje constante. (Ocampo, 2019)

Baterías

En los sistemas fotovoltaicos, las baterías son las encargadas del almacenamiento de la energía con el fin de suministrar dicha energía independientemente de la generación eléctrica del sistema fotovoltaico. Una batería se caracteriza por la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante la descarga de la batería llena, esta capacidad es medida en amperios/hora (Ah). Existen distintos tipos de baterías que se diferencian tanto por capacidad como por tecnología de almacenamiento. (Perpiñan, 2020)

1.2.2 Sistema de generación fotovoltaico aislado

Un sistema de generación fotovoltaico puede ser aislado, es decir sin tener una conexión con la red, para este caso es necesario un sistema de almacenamiento para proporcionar energía a las cargas cuando el recurso solar no sea suficiente y durante la noche (González, 2019). Estos sistemas aislados deben abastecer la demanda de los circuitos a alimentar en la mayor medida posible, al no estar conectada a la red depende netamente de la energía generada a través de los paneles (Ocampo, 2019). Este sistema es muy práctico para casos como zonas rurales alejadas y aisladas de los centros de generación. (Guevara & Gil, 2016)

Existen distintos tipos de generación fotovoltaica aislada que pueden ser DC, AC o mixtos.

Sistemas DC, son aquellos en los cuales se consumen la corriente continua que es generada directamente de los paneles fotovoltaicos, como ventaja principal en esos sistemas es la eficiencia, sin embargo, los equipos que funcionan en corriente continua son escasos y más costosos. (Sánchez, 2014)

Sistemas AC, son aquellos en los cuales se consume la corriente a través de un inversor, es decir la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos es transformada en corriente alterna para su consumo, como ventaja es que la mayoría de los equipos trabajan en corriente alterna, pero consumen más energía que sus equivalentes de corriente DC. (Sánchez, 2014)

Debido a las ventajas e inconvenientes de esos sistemas AC y DC, se combinan y son llamados mixtos, por lo general se conecta la iluminación al sistema DC debido a que no necesitan de mucha potencia y el resto de consumo se conecta a través del inversor, es decir en corriente AC. (Sánchez, 2014)

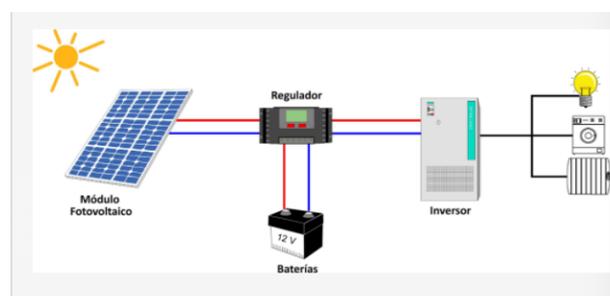


Figura 1. Esquema sistema fotovoltaico aislado
Fuente: (Cenitsolar, 2021)

Como se puede observar en la Figura 1, un sistema de generación fotovoltaico aislado está formado por los paneles fotovoltaicos que están conectados al regulador el cual va

conectado a la batería, del regulador también se conecta el inversor y finalmente el inversor suministra la corriente alterna a la carga.

1.2.3 Sistema de generación fotovoltaico conectado a la red

Este tipo de generación fotovoltaico opera enlazado a la red eléctrica, su función principal es de incrementar la potencia de una red eléctrica inyectando la energía producida. Los principales dispositivos que se utilizan en este tipo de generación son los paneles fotovoltaicos, un inversor DC/AC y protecciones. (Buele & Chazi, 2019)

Los motivos para conectar un sistema de generación fotovoltaico son diversos que pueden ir desde el ganar dinero vendiendo esta energía a las distribuidoras, ahorrar electricidad en los picos de demanda o como ayuda al ambiente al ser una fuente renovable o energía limpia. Para la conexión con la red es necesario el inversor para convertir la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, el inversor además monitoriza el sistema lo desconecta de la red si existe algún funcionamiento fuera de los parámetros normales. Estos sistemas de generación pueden incluir o no un sistema de baterías, al no tener un sistema de almacenamiento se enciende la planta generadora cuando sea necesario en función de la demanda y dependiendo de si los factores ambientales lo permiten. (Buele & Chazi, 2019)

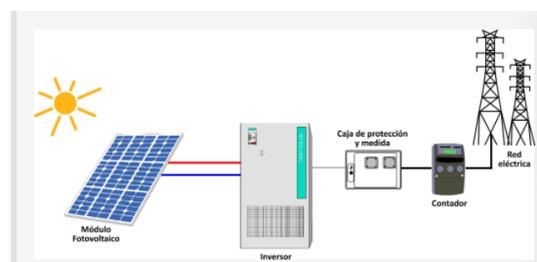


Figura 2. Esquema sistema fotovoltaico conectado a la red
Fuente: (Cenitsolar, 2021)

Como se puede observar en la Figura 2, un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red de distribución cuenta con sus elementos principales que son: los paneles fotovoltaicos que están conectados eléctricamente al inversor, al estar conectado a la red es necesario tener protecciones como se observa en el esquema, estas protecciones están conectadas después del inversor, después de las protecciones se tiene un dispositivo de medición y finalmente la conexión a la red de distribución.

1.3 Sistema de generación eólico

El sistema de generación eólico se basa en el aprovechamiento del viento que mueven aerogeneradores, turbinas que al ser accionados por el viento generan energía mecánica y

que es convertida a energía eléctrica. Las generadoras eólicas suponen una fuente de energía que cada día es más competitiva debido a que es cada vez más barata incluso en muchas regiones que otras fuentes de generación convencionales. Este tipo de energía es inagotable y considerada como energía limpia. (Arévalo, 2016)

Actualmente la generación eólica es considerada una energía limpia. Este tipo de energía renovable ha ido ganando más fuerza en los últimos años pese a sus inconvenientes como la intermitencia del viento ya que, es un recurso renovable que no daña al medio ambiente. La energía eólica no genera ningún residuo ni ningún tipo de contaminación ya que, es generada del viento que proviene principalmente de la diferencia de presiones existentes en distintos lugares del planeta. (Arévalo, 2016)

Como ya fue mencionado la energía eólica es cada vez más competitiva, tomando en cuenta esto y que genera un impacto positivo en el medio ambiente a diferencia de la generación de energía convencional, es de gran importancia que estos sistemas sean cada vez más utilizados en circuitos de baja y alta potencia.

1.3.1 Componentes principales de un sistema de generación eólico

Turbina eólica

La turbina eólica es una máquina para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica. Estas pueden ser según su montaje de su eje, horizontales o verticales. Las turbinas de eje horizontal son de gran tamaño y altas características de generación eléctrica, sin embargo, como ventaja las turbinas de eje vertical se pueden instalar a nivel de suelo. Actualmente las turbinas de eje horizontal dominan ya que, son utilizados en parques eólicos para la producción de grandes cantidades de potencia eléctrica porque son más eficientes que las turbinas de eje vertical. (Valle & Briones, 2017)

Generador eléctrico

En un sistema de generación eólica, el generador eléctrico es un dispositivo accionado por la turbina eólica y es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, este generador puede ser asíncrono o síncrono de imanes permanentes. (Hervas & Moscoso, 2015)

Los aerogeneradores son equipos que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica, si la energía mecánica producida por la turbina se convierte en energía eléctrica, la máquina se denomina aerogenerador. Para generar electricidad a partir de la

turbina eólica, se desea que el eje del motor gire a una velocidad de 2500 RPM (Valle & Briones, 2017)

Multiplicador

El multiplicador es un sistema mecánico que tiene como finalidad el aumentar la velocidad de giro del sistema de generación eólica mediante un conjunto de engranajes que comunica al eje de salida una velocidad de giro mayor que la del eje de entrada, es decir multiplica las revoluciones de giro del sistema y las divide en la misma proporción a la fuera del eje. (Hervas & Moscoso, 2015)

Mecanismo de orientación

Este mecanismo es el encargado de mantener el rotor de la turbina en posición perpendicular a la dirección del viento para que así a través del rotor pase la mayor cantidad de viento posible. (Hervas & Moscoso, 2015)

1.3.2 Sistema de generación eólico aislado

Los sistemas de generación eólico son aislados cuando no tienen una conexión con la red eléctrica, por lo general se usan aerogeneradores pequeños no tan eficientes como los grandes generadores, sin embargo, el uso de esta tecnología tiene una estructura relativamente simple lo que hace que sean fáciles de mantener. (IRENA, 2016)

Estos sistemas son adecuados para la alimentación rural donde no se dispone de una conexión a la red eléctrica (IRENA, 2016).

Los sistemas híbridos eólico-diésel pueden ser efectivos en pequeños o fuera de la red áreas, haciendo uso de la infraestructura de generación de diésel convencional existente mientras reducir el combustible y los costos de transporte de combustible y mejorar la estabilidad del suministro de energía. Este tipo de instalaciones por lo general son de reducido tamaño que son utilizadas para autoconsumo, comúnmente son instaladas en pequeñas industrias, estaciones de bombeo, explotaciones agrarias, viviendas, etc. Al no estar conectadas con la red requieren de un sistema de almacenamiento para poder consumir la energía eléctrica aun cuando no exista viento y se debe considerar que la planta debe abastecer la demanda de los circuitos conectados. (Herrera, 2011)

1.3.3 Sistema de generación eólico conectado a la red

La generación eólica al estar integrado en la red eléctrica al igual que en un sistema fotovoltaico inyecta la energía producida a la red con el fin de aumentar la potencia, sin embargo, muchas veces se ve afectada la calidad de potencia de dicha red generando

transitorios esto debido a que requieren de inversores para transformar la corriente continua en corriente alterna. (Gimenez & Gómez, 2011)

En dependencia de cada sistema eléctrico existen requerimientos técnicos para la interconexión de parques eólicos y la red eléctrica, estos requisitos pretenden garantizar la seguridad en la operación de un sistema eléctrico. Normalmente estos requisitos imponen que los parques eólicos deben tener la capacidad de soportar huecos de voltaje en un cierto porcentaje del voltaje nominal durante un tiempo específico. Otro requisito importante es la capacidad de regular el suministro de potencia reactiva ante perturbaciones de voltaje al igual que en las plantas convencionales y proveer regulación del factor de potencia, esto se refiere a que se genere potencia reactiva durante huecos de voltaje o incrementar el consumo de la potencia reactiva cuando existan sobrevoltajes. (Barboza, 2011)

1.4 Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno es una máquina rotativa que acciona un generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, este tipo de máquina tiene un nivel mínimo de carga que por lo general es del 30% de su potencia nominal, al estar por encima de este porcentaje se trabaja en estado óptimo, sin embargo, si se trabaja por debajo de este se recomienda no usarlo por tiempos prolongados debido a que pueden producirse averías o reducir el tiempo de vida útil del generador. (Sánchez, 2014)

Los grupos electrógenos están destinados a una gran variedad de empleos como el proveer energía de reserva, suplementaria o de emergencia, para distintas instalaciones ya sean esenciales o no esenciales, esto resulta en una gran cantidad de modelos que combinan múltiples tecnologías como son los sistemas híbridos. (Lacoste & Coligno, 2011)

Los grupos electrógenos están formados principalmente por un conjunto integrado que contiene un motor térmico primario y un generador eléctrico acoplado al eje de este, en los grupos electrógenos más modernos tienen microprocesadores, sistemas de comunicación de datos, etc. Esto brinda una mayor flexibilidad operativa, además permite su control de manera remota. (Lacoste & Coligno, 2011)

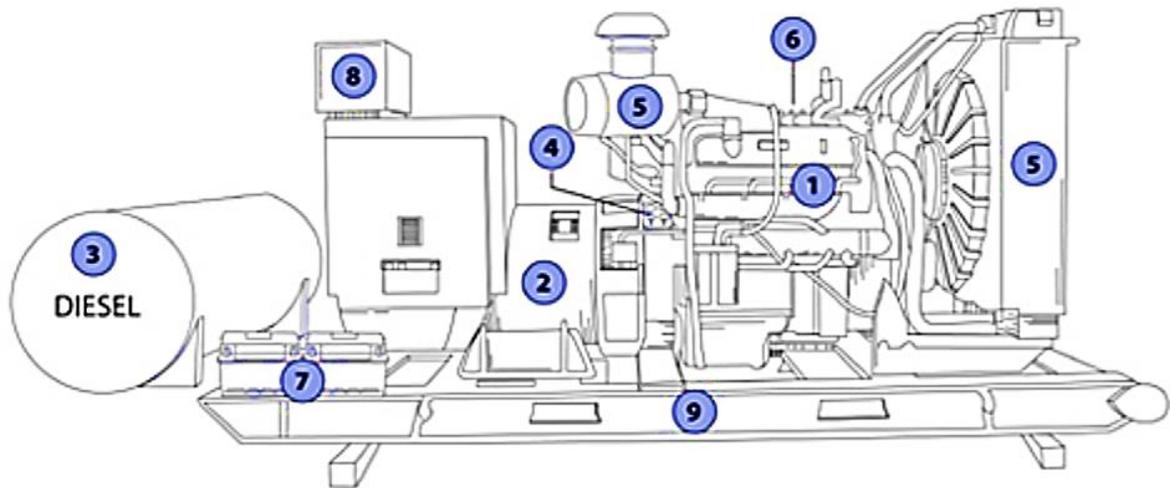


Figura 3. Partes que constituyen un grupo electrógeno
Fuente: (Arrequip, 2021)

En la Figura 3 se pueden distinguir las siguientes partes que constituyen principalmente a un grupo electrógeno, tales como:

- 1) Motor
- 2) Alternador
- 3) Sistema de combustible
- 4) Regulador de voltaje
- 5) Sistema de enfriamiento y escape
- 6) Sistema de lubricación
- 7) Batería
- 8) Panel de control
- 9) Conjunto principal / marco

1.5 Sistemas de acumulación de energía y de carga

Existen subsistemas en la generación fotovoltaica como en la generación eólica que fueron descritos anteriormente de manera rápida que son los sistemas de acumulación de energía es decir las baterías y los reguladores, por otro lado, existen los sistemas de carga que son los inversores.

1.5.1 Baterías

Una batería es un conjunto de celdas electroquímicas que tiene un electrodo positivo, un electrodo negativo y un electrolito, el cual puede conducir iones entre ambos electrodos y que a su vez es un aislante eléctrico. Actualmente las baterías pueden ser fabricadas de distintas maneras en función del voltaje y corriente requerida. (Sales, 2019)

Por lo general se utilizan bancos de baterías de ciclo profundo, estas están diseñadas para soportar niveles de descarga profundos durante muchos ciclos de carga y descarga, por lo general estos bancos de baterías tienen fusibles o llaves de protección y un medidor de carga que permite conocer cuanta carga tienen. Debido a que el costo de las baterías es alto se trata de prolongar la vida útil de estas (Ávila, 2017)

Las baterías para energía solar o acumuladores son los encargados del almacenamiento energético, este almacenamiento se lo realiza para poder suministrar energía independientemente de la producción eléctrica ya sea fotovoltaica o eólica, esta generación puede ser interrumpida por factores como que el día este nublado o que no exista la suficiente velocidad del viento, cuando esto ocurre las baterías alimentan a la carga. (Hervas & Moscoso, 2015)

Hay dos características principales de una batería, el voltaje y la capacidad nominal. La capacidad de una batería está dada por la cantidad de electricidad que puede almacenar o entregar durante una descarga completa de la batería llena, se mide en amperios/hora Ah, para un tiempo determinado de descarga. (Saavedra, 2016)

- **Clases de baterías**

Las baterías pueden ser de distintas clases tales como: baterías plomo-ácido, baterías de níquel, baterías de litio y otras en desarrollo.

Baterías plomo-ácido

Estas baterías están formadas por un recipiente que contiene ácido sulfúrico disuelto en agua de una concentración entre el 30-40%, en el cual se insertan un conjunto de placas de plomo colocadas de manera alterna según su polaridad positiva o negativa, las placas positivas están cubiertas por dióxido de plomo (PbO_2), mientras que las placas negativas se cubren de plomo esponjoso. La batería plomo-ácido almacena la energía gracias a una reacción química, la cual es reversible, es decir que en función de carga y descarga generará o consumirá electrones. (Sales, 2019)

Baterías de níquel

Las baterías de níquel utilizan un electrodo positivo basado en níquel y una solución alcalina, dentro de este grupo encontramos 5 acumuladores recargables: NiCd, NiMH, Ni-H₂, Ni-Zn, y NiFe. Las baterías de níquel tienen algunas ventajas, entre sus principales se destacan: capacidad de recarga rápida, larga vida útil y de almacenamiento, buenas profundidades de descarga y elevada densidad energética, mientras se descargan mantienen el voltaje relativamente constante. (Sales, 2019)

Baterías de litio

Las baterías de litio aparecieron con la demanda de dispositivos portátiles, en estas baterías se ahorra espacio y precio en comparación con las de níquel y plomo-ácido ya que, su voltaje es superior haciendo que se necesiten menos células para obtener las características requeridas. Como desventaja estas baterías no toleran la sobrecarga pudiendo en casos hasta llegar a producir una explosión y es por esto que necesitan de un sistema de control para su carga.

En la tecnología basada en litio nos encontramos con distintas variantes, litio-ion, litio-polímero, litio-metal y litio-metal fosfato. (Sales, 2019)

Baterías en desarrollo

Debido a que la demanda de baterías es creciente se están realizando investigaciones para encontrar alternativas tecnológicas tales como:

Baterías de estado sólido. Las investigaciones de estas baterías están enfocadas en rentabilizar su tecnología, consiste en un electrolítico de estado sólido, entre sus características principales están: poseer una alta seguridad, alta densidad energética, rápida recarga y muy buena eficiencia (Sales, 2019)

Baterías de grafeno. El grafeno es un nanomaterial bidimensional, consiste en una sola capa de átomos de carbono, a pesar de ser tan fino y ligero es el material más fuerte que se conoce en la naturaleza. Se está estudiando en profundidad el uso de grafeno en baterías de ion-Litio, el grafeno es una fuente de potencia renovable y limpia, se han propuesto electrodos basados en materiales de grafeno en baterías ion-Litio es considerada una de las alternativas más prometedoras debido a su alta conductividad eléctrica y típica estructura bidimensional. En las investigaciones realizadas se ha evidenciado su espectacular carga y descarga mostrando un futuro prometedor. (Castilla, 2016; Graphenano, 2017)

1.5.2 Reguladores de carga

El regulador de carga es un dispositivo que cuya función principal es que no existan sobrecarga y descargas profundas de la batería prolongando así su vida útil, el regulador monitorea de manera continua el voltaje del banco de baterías, si la batería se encuentra en su carga máxima el regulador interrumpe el proceso de carga abriendo el circuito entre la generación y las baterías evitando así las sobrecargas, por el contrario, si las baterías comienzan a descargarse el regulador nuevamente conecta el sistema. El regulador entra en funcionamiento de acuerdo con la demanda existente en la carga y los niveles de voltaje y corriente del banco de baterías. (Hervas & Moscoso, 2015)

Los reguladores pueden ser de dos tipos el paralelo o shunt y los serie.

En los reguladores tipo shunt el voltaje de entrada no regulado proporciona corriente a la carga, si el voltaje de carga intenta cambiar debido a una variación de la resistencia de carga, el circuito de muestreo manda una señal de retroalimentación al comparador, esta diferencia de voltaje proporciona la señal de control para así regular el voltaje de salida (Arya, 2020). Los reguladores tipo shunt disipan toda la corriente de salida de un grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. (Quezada & Viteri, 2008)

Los reguladores serie, tiene un elemento de control en serie con carga entre entrada y salida, compara el voltaje de muestra con el voltaje de referencia y hace que el elemento de control lo compense y así mantener un voltaje de salida constante (Arya, 2020)

1.5.3 Inversores

Es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua DC en corriente alterna AC. Los inversores se caracterizan por su voltaje de entrada desde una fuente de corriente continua, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento de potencia. El rendimiento de potencia es la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega y la potencia eléctrica que extrae del sistema de baterías o generadores fotovoltaicos, es decir la relación entre la potencia de entrada y de salida. (Hervas & Moscoso, 2015)

De acuerdo con el sistema de generación puede estar aislado o conectado a la red, si está conectado a la red se utilizan inversores de conmutación natural, ya que, la red determina el estado de conducción hacia los dispositivos eléctricos conectados al sistema, si el sistema es aislado se utilizan inversores de conmutación forzados, es decir de apertura y cierre forzado por el sistema de control. (Hervas & Moscoso, 2015)

Los inversores pueden clasificarse en:

-Inversores de onda sinusoidal: convierten la corriente continua a alterna de calidad, sin embargo, tienen un costo elevado.

-Inversores de onda cuadrada indicados para cargas resistivas, los cuales son los más económicos

-Inversores de onda cuadrada modificada o senoidal modificada que se encuentran en un punto medio entre calidad y precio.

-Inversores síncronos: estos inversores usan conmutadores RCS con controladores analógicos, esto para señalar cuando se deben enviar pequeñas señales a la red

-Inversores auto conmutados: emplean controladores IGBT y digitales para convertir la corriente compatible con la de la red, con estos controladores se mejora la fiabilidad y calidad de la potencia en comparación con inversores sincronizados. (Cueva, 2015)

Los inversores deben cumplir las siguientes exigencias:

- Ofrecer una eficiencia alta que minimice las pérdidas. El rendimiento puede oscilar entre el 90% y 97% aunque idealmente debería ser del 100% o lo más cercana.
- Tener protecciones contra cortocircuitos y sobrecargas
- Disponer de elementos que incorporen el rearme y desconexión automática del inversor
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su capacidad nominal, esto con el fin de soportar las corrientes de arranque de algunos equipos como cargas frías.
- Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo
- Tener aislamiento galvánico
- Tener sistema de medida y monitorización
- Incorporar controles manuales para el encendido y apagado del inversor, así como su conexión y desconexión al circuito AC. (Ruiz, 2015)

1.5.4 Barras colectoras

Una barra colectora es un conductor de corriente que no está constituida por cables sino de barras gruesas, estas comúnmente son de cobre o de aluminio. La barra colectora es el

conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos derivados, por lo general son utilizadas en subestaciones y pueden existir varios juegos de barras que agrupen diferentes circuitos en uno o distintos niveles de voltaje, Estas barras pueden ser para conexiones en AC, en DC o mixtas. (Rojas, 2018)

Bus-barra colectora AC

Un bus de AC es una barra en la cual se conectan solamente dispositivos que entreguen o reciban este tipo de corriente. Por lo general hay una separación galvánica entre el bus de corriente alterna y el conjunto de convertidores, así como el aislamiento necesario, también se colocan transformadores provistos de un tap de regulación en carga para regular la relación de conversión compensando así caídas de voltaje en el convertidor o fluctuaciones en el bus. (Ranz, 2014). En el sistema de bus AC, toda la salida fotovoltaica es destinada a una carga de DC o la batería sufre las pérdidas asociadas tanto con un inversor como un rectificador, consideran a esta configuración más modular. (Ross, Turcotte, Roussin, & Fry, 2004)

Bus-barra colectora DC

Un bus DC es una barra colectora en la cual se conectan dispositivos DC, cargas DC, baterías, sistemas de generación de energía DC como paneles fotovoltaicos e inversores DC/AC en el caso de suministrar energías a cargas AC. (Ross, Turcotte, Roussin, & Fry, 2004)

Para el caso del bus DC, se suele poder conectar un Grupo electrógeno al inversor, que aparte de gestionar su encendido transfiere la energía en alterna a donde corresponda (baterías o carga) (Muro, Barrero, Macías, Parte, & Fernández, 2014)

Bus AC/DC-barras colectoras mixtas

Un bus AC/DC es una configuración que contiene un bus AC secundario al que se conectan las cargas de AC, se tiene como principal un bus DC. Un rectificador transfiere la energía desde el bus AC (energía de un grupo electrógeno) al bus DC, por el contrario, un inversor transfiere la energía en la dirección opuesta según sea necesario. (Ross, Turcotte, Roussin, & Fry, 2004)

1.6 Configuraciones de los sistemas híbridos de generación de energía

Como ya fue mencionado para que un sistema sea considerado híbrido debe tener al menos dos tipos de generación, las principales son: sistema eólico-grupo electrógeno, sistema fotovoltaico-grupo electrógeno, sistema fotovoltaico eólico y sistema fotovoltaico eólico grupo electrógeno. Para este caso de estudio se centrará en dos el sistema eólico-grupo electrógeno y sistema fotovoltaico-grupo electrógeno.

Por lo general en sistemas aislados se dispone de generación renovable apoyados de grupos generadores a diésel gasolina, con un banco de baterías, inversores, etc.

1.6.1 Configuración híbrida fotovoltaica-grupo electrógeno

Este sistema está compuesto por un arreglo fotovoltaico, un grupo electrógeno y un banco de baterías que es opcional, pero que es muy recomendado, además un inversor que se encargará de convertir la corriente continua en alterna y viceversa, cargar el banco de baterías y de la gestión del funcionamiento de las fuentes de energía. (Saavedra, 2016)

En la configuración híbrida fotovoltaica-grupo electrógeno se tiene como prioridad el consumo de la energía que proviene de la generación fotovoltaica, por tanto, se alimenta la carga con energía solar siempre que esté disponible y sea suficiente. Si existe un excedente de energía solar esta se almacena en el banco de baterías para ser utilizada posteriormente cuando no se pueda generar energía mediante la radiación solar por factores ambientales. Si por el contrario la carga es mayor a la energía solar que es producida, el banco de baterías inyecta su energía almacenada, pero de no ser suficiente o no tiene carga la batería, el grupo electrógeno entra en funcionamiento alimentando la carga. El grupo electrógeno es la última medida de utilización en estos sistemas ahorrando combustible y disminuyendo la contaminación atmosférica. (Saavedra, 2016)

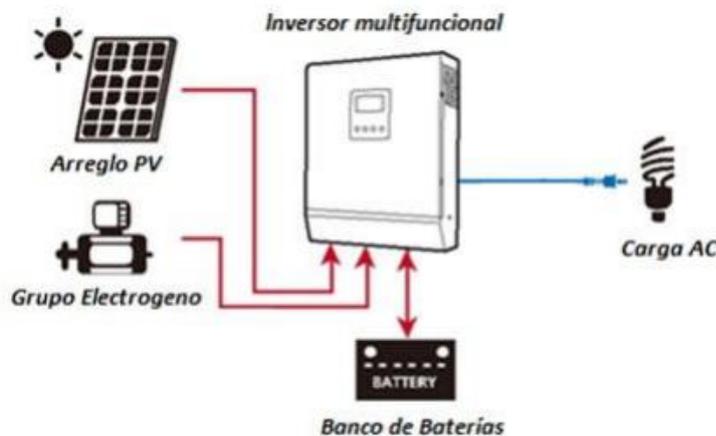


Figura 4 Esquema de sistema híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno
Fuente: (Saavedra, 2016)

Como se puede observar en el esquema de la Figura 4, el arreglo fotovoltaico está compuesto por uno o más paneles fotovoltaicos que están conectados eléctricamente entre ellos, este arreglo fotovoltaico se conecta al inversor y suministra la energía a través del inversor, de igual forma el grupo electrógeno suministra la energía a través del inversor, la batería puede suministrar o recibir energía para cargarse o descargarse a través del inversor que realiza el control, por último se tiene la carga que recibe la energía del inversor.

1.6.2 Configuración híbrida eólica-grupo electrógeno

Este sistema híbrido combina la generación mediante el viento y los generadores Diesel. El sistema puede tener un sistema de almacenamiento además de un inversor. El objetivo de estos sistemas complejos es equilibrar a la naturaleza intermitente de la energía eólica con el diésel que es relativamente controlable (Al-Tameemi, Latif, & Abass, 2018)

La incorporación de la generación eólica en un sistema híbrido es fundamental en la mitigación de los impactos ambientales negativos asociados con el diésel como combustible (Al-Tameemi, Latif, & Abass, 2018). En este sistema se tiene como prioridad el consumo de la energía eólica, por tanto, se alimenta la carga con energía producida del viento siempre que esté disponible y sea suficiente, el grupo electrógeno es la última medida de utilización (Hervas & Moscoso, 2015)

El sistema de almacenamiento en este sistema híbrido se recomienda ya que, se trata de consumir mayoritariamente la energía producida por el viento, si llegase a existir un excedente de esta energía se puede almacenar para poder utilizarla posteriormente, esto con el fin de ayudar al medio ambiente.

Capítulo II Dimensionamiento del sistema de generación híbrido

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron con base en parámetros técnicos del dimensionamiento de los componentes del sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno, realizado para el sistema de alumbrado público de la Universidad Técnica del Norte. El estudio se realizó para tres escenarios de funcionamiento mixto entre el sistema fotovoltaico y grupo electrógeno.

2.1 Descripción del lugar de estudio

La planta de generación híbrida se dimensionó para el sistema de alumbrado público del campus del Olivo de la Universidad Técnica del Norte. La ubicación exacta de la planta fotovoltaica se diseñó en la azotea de la piscina, que se encuentra dentro del campus universitario, misma que cuenta con una extensión de 14m de ancho y 45m de largo (como se indica en el recuadro de la Figura 5), teniendo una superficie de 630m².



Figura 5 Campus Universidad Técnica del Norte
Fuente: (Google Maps, 2021)

De la entrevista con el personal técnico del campus se sabe que el consumo de energía eléctrica para el alumbrado público en el campus es de 400 kW. Este alumbrado funciona en

su máxima capacidad de 6:30pm a 10pm y de 10pm a 6am funciona solo al 50% de su capacidad. (López, 2021)

Se realizó el diseño en esta ubicación debido a que tenía una superficie amplia suficiente para abarcar los paneles fotovoltaicos y, además el grupo electrógeno se encuentra detrás de la piscina.

2.2 Metodología

Para la realización del presente trabajo se empleó una metodología con el fin de determinar las técnicas y el proceso que permitió llevar a cabo la investigación de manera ordenada y con un sentido lógico de manera técnica.

Todo el procedimiento se dividió en etapas, cada una de estas se muestran de manera gráfica mediante un diagrama de flujo en la Figura 6

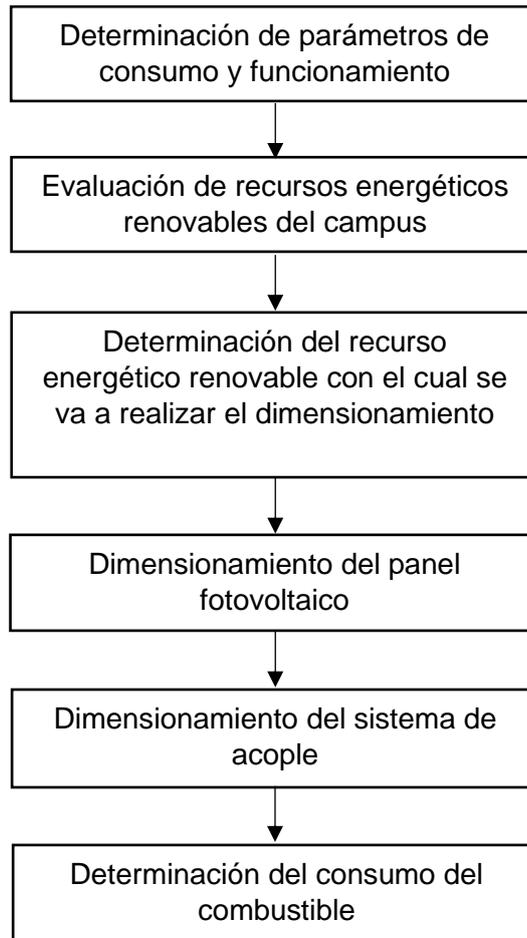


Figura 6 Diagrama de flujo de la metodología aplicada

Fuente: Autor.

Como primer paso se determinó los parámetros de consumo diario del sistema de alumbrado público del campus del Olivo de la universidad, además se estableció los escenarios de funcionamiento mixto entre el sistema fotovoltaico y grupo electrógeno de la planta.

Se realizó una evaluación de los recursos energéticos renovables del campus para después determinar con cual, de estos recursos, eólico o solar, dimensionar la planta de generación renovable. Una vez que se determinó que se dimensionaría la planta con el recurso solar, se dimensionó el panel fotovoltaico.

Con todo lo anterior realizado, se procedió a dimensionar el sistema de acople. Primero se seleccionó con que sistema de barras trabajar, AC, DC o mixtas. Después se dimensionó el regulador, acumulador de carga, inversores, conductores y finalmente protecciones.

2.3 Descripción de materiales

Para la realización del dimensionamiento del sistema de generación híbrido se requirió de los siguientes materiales: datos del grupo electrógeno existente en el campus, información de recurso energético renovable eólico y solar, ecuaciones necesarias para el dimensionamiento.

2.3.1 Características del grupo electrógeno

La Universidad Técnica del Norte posee un grupo electrógeno de 450 kVA, el consumo de combustible en su capacidad nominal es de 91 l/h. Puesto que la potencia máxima requerida por el sistema de alumbrado es de 400 kW, el grupo electrógeno puede alimentar al sistema de alumbrado público funcionando al 100% de su capacidad.

2.3.2 Información de recurso energético renovable existente en el campus

Se realizó un análisis técnico para determinar que recurso energético considerar para el dimensionamiento de la planta híbrida, energía solar o eólica, para lo cual se requirió de información de estudios realizados previamente en el campus de la universidad. Esta información contiene datos relevantes como la velocidad del viento y radiación solar existente en la zona.

Con base en esta información se concluirá que recurso es más idóneo para la propuesta con bases técnicas y se procederá al diseño de la planta de generación.

Tabla 1 Recurso energético renovable existente en el campus del olivo UTN

Recurso energético renovable existente en el campus del olivo UTN	
Tipo de recurso	Datos
Recurso energético solar	Radiación solar media 4.48 kWh/m ²
Recurso energético eólico	Velocidad del viento en rango de 2 m/s a 9 m/s

Fuente: (Fueltan, 2019; Pailacho, 2019)

La Tabla 1 presenta los datos del recurso energético renovable existe en el campus en sus distintas medidas. El recurso energético en radiación solar media y el recurso energético eólico en función de la velocidad del viento.

2.3.3 Ecuaciones necesarias para el dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico.

Se realizó un diagrama de flujo simplificado de la estructura de la planta híbrida fotovoltaica-grupo electrógeno para que se entienda de mejor manera los elementos que la conforman y saber cuáles son las fórmulas necesarias para su dimensionamiento.

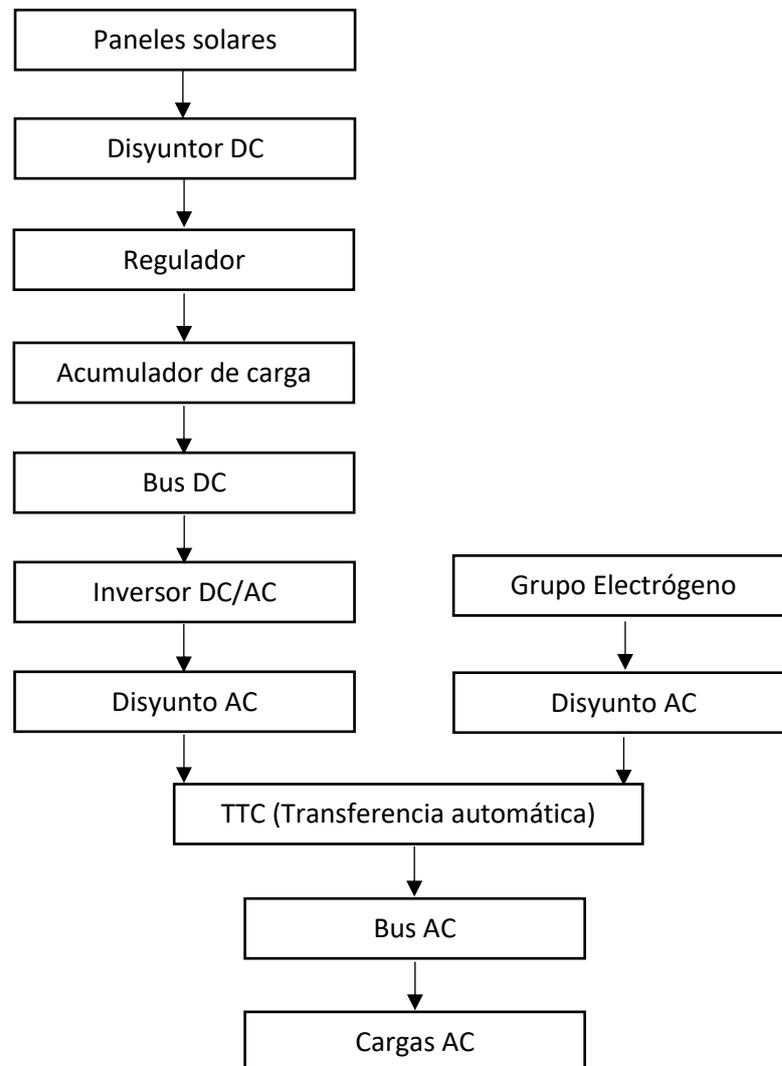


Figura 7 Diagrama de flujo de la estructura de la planta de generación híbrida FV-grupo electrógeno
Fuente: Autor

Como se puede observar en la Figura 7 los paneles fotovoltaicos son conectados a un disyuntor y este al regulador, el cual se encarga de regular el voltaje que es enviado al acumulador de carga. El acumulador de carga está conectado al Bus DC, del bus DC se conecta al inversor DC/AC para convertir la corriente continua en alterna y de este modo conectarse a través de un disyuntor DC al Bus AC. El grupo electrógeno se conecta al Bus AC a través de un disyuntor AC para finalmente se tenga la salida a las cargas AC.

Para la realización del dimensionamiento de las partes que conforman el sistema de generación fotovoltaico se utilizó distintas ecuaciones para los cálculos de: consumo energético diario del sistema de alumbrado público del campus, número de paneles fotovoltaicos, dimensionamiento de baterías, dimensionamiento de regulador de carga, dimensionamiento de inversor, dimensionamiento de conductores y dimensionamiento de protecciones.

- Determinación del consumo energético diario

El consumo energético diario del sistema de alumbrado público del campus es determinado con dos parámetros: la potencia nominal de la carga y el tiempo en horas de su utilización.

Se debe tomar en cuenta que el campus tiene dos potencias nominales ya que, trabaja al 100% de su potencia nominal de 6pm a 10pm y posteriormente trabaja solo en el 50% de su potencia nominal hasta las 6am. La ecuación necesaria para el cálculo es Ec. (1) (Click Renovables, 2019)

$$C_d = \sum P_c H_d \text{ [kW/d]} \quad (1)$$

Donde: C_d – Consumo diario total [kW/d]; P_c – potencia de cada equipo [W]; H_d – número de horas al día que se utilizan los equipos

- Determinación del número de paneles fotovoltaicos

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos se consideraron tres parámetros: la potencia nominal del sistema, la potencia nominal del panel fotovoltaico y el número de horas de funcionamiento de la planta. La ecuación utilizada para el cálculo es Ec. (2) (Fueltan, 2019)

$$n_p = \frac{P_i}{P_p n_h} \text{ [u]} \quad (2)$$

Donde: n_p – número de paneles fotovoltaicos [u]; P_i – potencia de la instalación [W]; P_p – potencia nominal del panel fotovoltaico [W]; n_h – número de horas

- Dimensionamiento del acumulador de carga

Rendimiento de la batería

Es la relación en porcentaje entre la energía eléctrica que se recibe durante el proceso de carga y la que la batería entrega durante el proceso de descarga. La ecuación necesaria para realizar el cálculo del rendimiento de una batería es Ec. (3) (Álvarez, 2019)

$$\eta_B = 100\% - k_b \text{ [%]} \quad (3)$$

Donde: η_B – rendimiento de la batería [%]; k_b – pérdidas de rendimiento del acumulador [%]

Capacidad de acumulación de la batería

Para determinar el tamaño de la batería o acumulador de carga se consideró los días de autonomía, el consumo energético y el voltaje de salida del acumulador de carga. Para calcular la capacidad de la batería se requiere la Ec. (4) (Llanes & Salvador, 2017)

$$Q_{Ah} = \frac{E_t D_a}{V_{BAT} \eta_B} \text{ [Ah]} \quad (4)$$

Donde: Q_{Ah} = capacidad de acumulación de la batería [Ah]; E_t = energía total diaria [W/d]; D_a – días de autonomía [d]; V_{BAT} – voltaje de la batería [V]; η_B = rendimiento de la batería [p.u]

- Dimensionamiento de regulador de carga

Para dimensionar el regulador de carga se debe considerar que el voltaje nominal del regulador, del generador y del acumulador de carga deben ser iguales. La capacidad del regulador de carga se calcula mediante la Ec. (5) (Álvarez, 2019)

$$I_R = I_{SC} * N_{rP} * 1.25 \text{ [A]} \quad (5)$$

Donde: I_R – corriente del regulador [A]; I_{SC} – corriente de cortocircuito del panel solar [A]; N_{rP} – número de ramas en paralelo [u]; f – factor de seguridad (recomendado 1.25)

- Dimensionamiento de inversores

El dimensionamiento del inversor se determina en función del voltaje nominal del sistema y la demanda máxima del mismo. Se debe considerar que el inversor tenga una capacidad de potencia mayor que la máxima demanda, es decir considerar un factor de seguridad (Llanes & Salvador, 2017)

El número de inversores necesarios para el sistema fotovoltaico se calcula mediante la Ec. (6) (Llanes & Salvador, 2017)

$$N_{inv} = \frac{1.25 P_{max}}{P_{inv}} \text{ [u]} \quad (6)$$

Donde: N_{inv} – número de inversores [u]; P_{max} – potencia máxima de la demanda [W];
 P_{inv} – potencia nominal del inversor [W]

- Dimensionamiento de conductores

Para el dimensionamiento de conductores se debe considerar tres parámetros: la distancia entre los elementos, la capacidad de corriente y la caída de voltaje máxima admisible. La sección de los conductores se obtiene mediante la Ec. (7) (Sopeña, 2019)

$$S = \frac{(2P_e L I)}{\Delta V} [mm^2] \quad (7)$$

Donde: S – sección del conductor [mm^2]; ΔV = caída de voltaje [V]; P_e – resistividad del material [Ω/m]; L – longitud [m]; I – corriente [A]

- Dimensionamiento de protecciones

Toda instalación eléctrica requiere de algún tipo de protección, esto con el fin de salvaguardar a la instalación contra sobreintensidades que puedan dañar el circuito. Para dimensionar las protecciones en línea de corriente continua se hace uso de la Ec. (8) (Fuektan, 2019)

$$I_{max} = I_{sc} 1.25 [A] \quad (8)$$

Donde: I_{max} = corriente máxima [A]; I_{sc} – corriente de cortocircuito [A]; f – factor de seguridad (recomendado 1.25)

Para dimensionar las protecciones en línea de corriente alterna se consideran otros factores: la potencia de salida del inversor, el voltaje y el factor de potencia que al tratarse de sistemas fotovoltaicos es igual a la unidad. Para determinar su valor se hace uso de la Ec. (9) (Sopeña, 2019)

$$I_{max} = \frac{P}{V f_p} [A] \quad (9)$$

Donde: I_{max} – corriente máxima [A]; V – voltaje [V]; f_p – factor de potencia (para sistema fotovoltaico 1)

2.4 Determinación de parámetros de consumo

Para el cálculo del consumo energético se tomó en cuenta los siguientes datos: potencia nominal del sistema de alumbrado 400 kW, horas de consumo de 6pm a 10pm funciona al

100% de su capacidad, es decir que durante 4 horas el sistema funciona a su potencia nominal. De 10pm a 6am funciona al 50% de su capacidad, es decir que durante 8 horas funciona a la mitad de su potencia nominal. (López, 2021). Con lo expuesto se realizó el cálculo del consumo energético mediante la Ec. (1)

$$C_d = 400 \text{ kW} * 4 + 200 \text{ kW} * 8$$

$$C_d = 3200 \text{ kW/d}$$

2.5 Determinación de parámetros de funcionamiento

Se determinó tres escenarios de funcionamiento mixto entre el sistema fotovoltaico y grupo electrógeno presentados a continuación:

Primer escenario: funcionamiento de la planta fotovoltaica 70% y grupo electrógeno 30%

Segundo escenario: funcionamiento de la planta fotovoltaica 50% y grupo electrógeno 50%

Tercer escenario: funcionamiento de la planta fotovoltaica 30% y grupo electrógeno 70%

Del valor obtenido de energía y del porcentaje de funcionamiento de cada escenario, se calculó que cantidad de kW/día debe suministrar la planta fotovoltaica y el grupo electrógeno para los distintos escenarios planteados.

Tabla 2 Energía diaria por suministrar en los distintos escenarios planteados

Energía diaria por suministrar en los distintos escenarios planteados	
Generación de la planta FV	Generación del grupo electrógeno
Escenario 1 FV 70%-grupo electrógeno 30%	
2240 kW	960 kW
Escenario 2 FV 50%-grupo electrógeno 50%	
1600 kW	1600 kW
Escenario 3 FV 30%-grupo electrógeno 50%	

960 kW	2240 kW
--------	---------

Fuente: Autor

Como se puede observar la Tabla 2 contiene las distintas cantidades de kW/d por suministrar de generación renovable y por parte del grupo electrógeno para los tres escenarios planteados anteriormente. Calculados multiplicando el consumo diario en kW/d por el respectivo porcentaje de cada escenario.

2.6 Evaluación de recursos energéticos renovables del campus Universidad Técnica del Norte

La evaluación de los recursos energéticos en el campus de la Universidad Técnica del Norte permitió el realizar un diseño que sea sustentable técnicamente, es decir un diseño que esté acorde con los recursos energéticos disponibles.

Esta evaluación identificó la disponibilidad de los recursos energéticos en función de kWh/m² en el caso del recurso solar y en función de m/s para el caso de la energía eólica de acuerdo con la velocidad del viento.

2.6.1 Evaluación de recurso energético solar

Para la evaluación del recurso solar se hizo uso de una investigación previa realizada en el campus de la universidad.

Tabla 3 Estimadores estadísticos de radiación solar mensuales

Sensor de Radiación Solar RK200-03											
Mes	# Datos	Media	Desviación Estandar	Mediana	Mínimo	Máximo	Q1	Q3	Q3-Q1	P5	P95
Datos Globales											
Total	37	4,15	2,00	4,14	0,00	7,36	2,95	5,57	2,62	0,14	6,94
Datos por mes											
Abril	11	4,38	2,34	3,89	0,18	6,87	2,78	6,57	3,79	1,19	6,85
Mayo	4	3,48	3,18	3,36	0,00	7,21	1,42	5,41	3,99	0,28	6,85
Junio	11	4,15	1,82	3,98	0,74	7,36	3,36	5,06	1,70	1,54	6,76
Julio	11	4,14	1,53	4,39	0,00	6,03	3,92	4,85	0,93	1,81	5,58
Sensor de Radiación Solar ONSET S-LIB-M003											
Mes	# Datos	Media	Desviación Estandar	Mediana	Mínimo	Máximo	Q1	Q3	Q3-Q1	P5	P95
Datos Globales											
Total	156	4,48	1,16	4,52	1,99	6,71	3,65	5,25	1,60	2,40	6,32
Datos por mes											
Febrero	9	4,54	1,75	4,62	2,00	6,71	2,83	6,10	3,27	2,22	6,64
Marzo	30	4,69	1,14	4,76	2,44	6,57	3,69	5,59	1,90	3,13	6,43
Abril	30	4,22	1,28	4,17	2,03	6,32	3,33	5,12	1,79	2,22	6,27
Mayo	31	4,40	1,33	4,43	1,99	6,71	3,29	5,61	2,32	2,17	6,28
Junio	30	4,50	0,95	4,48	3,03	6,40	3,84	5,08	1,24	3,10	6,22
Julio	26	4,61	0,78	4,64	3,46	6,11	3,83	5,12	1,29	3,58	5,93

Fuente: (Fueltan, 2019)

Se puede observar en la Tabla 3 que la radiación solar diaria tiene un mínimo de 1.99 kWh/m² y un máximo de 7.36 kWh/m², con estos datos se puede determinar la radiación solar media diaria en alrededor de 4.48 kWh/m²

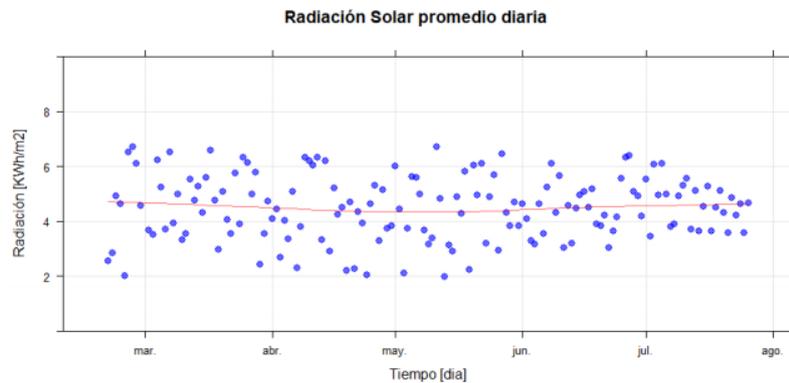


Figura 8 Radiación solar diaria desde febrero hasta julio del 2019
Fuente: (Fueltan, 2019)

De acuerdo con los datos recopilados de la Tabla 3 y con la Figura 8, se determinó la radiación solar diaria media, que es de 4.48 kWh/m², además se observó que tiene un comportamiento uniforme durante el tiempo que se realizaron las mediciones estableciendo que el rango de radiación existente en el Campus de la Universidad Técnica del Norte está entre 4.48 – 6.71 kWh/m². (Fueltan, 2019)

2.6.2 Evaluación de recurso energético eólico

Para la evaluación del recurso eólico se hizo uso de una investigación previa realizada en el campus de la universidad.

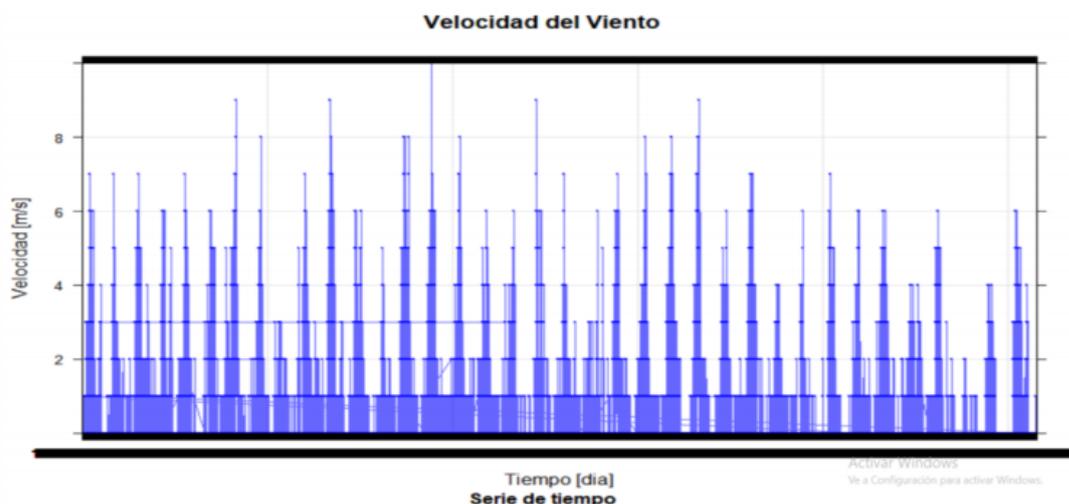


Figura 9 Velocidad del viento del campus UTN
Fuente: (Pailacho, 2019)

Para la medición de la velocidad del viento se utilizó un anemómetro arrojando los resultados de la Figura 9, según estos resultados en la Universidad Técnica del Norte existe el recurso energético eólico en el rango de 2 m/s a 9 m/s, este recurso energético no es constante ya que, varía mucho.

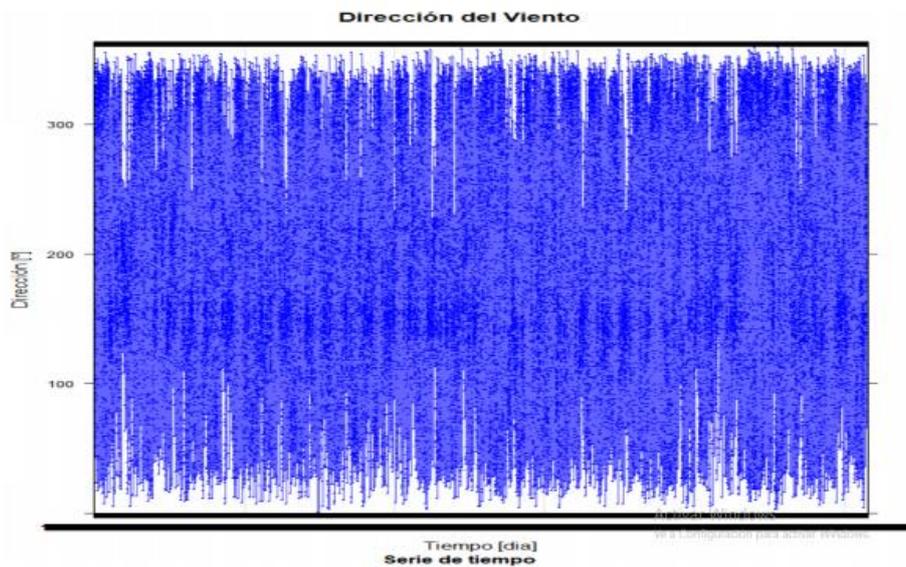


Figura 10 Dirección del viento del campus UTN
Fuente: (Pailacho, 2019)

En la Figura 10 se encuentran los datos de la dirección del viento en la Universidad Técnica del Norte recopilados durante aproximadamente un mes, sin embargo, el resultado del análisis es arbitrario debido a que la dirección del viento es inestable. (Pailacho, 2019)

2.6.3 Selección de recurso energético renovable con el cual dimensionar la planta de generación híbrida

El recurso energético renovable elegido para dimensionar la planta de generación híbrida renovable-grupo electrógeno, fue seleccionado basado en parámetros técnicos. Se consideró que recurso es más estable tomando en cuenta si los estudios previos realizados arrojaron resultados sólidos.

En la información recopilada se encontró varios puntos importantes a considerar para la selección del recurso energético renovable. El recurso eólico del campus del olivo de la universidad es irregular, no es constante, tiene resultados parciales. El recurso solar es constante y con un rango de radiación entre 4.48 – 6.71 kWh/m².

Considerando esto se optó por dimensionar la planta de generación renovable con el recurso energético solar ya que, de las investigaciones previas se tienen resultados más

sólidos de este recurso además de un rango de irradiación capaz de generar energía suficiente para alimentar al sistema de alumbrado público del campus.

2.7 Dimensionamiento del sistema de acople híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno

Con todo el análisis técnico realizado, se procedió al dimensionamiento de los elementos principales que conforman una planta de generación híbrida fotovoltaica-grupo electrógeno.

Para proceder con el dimensionamiento fue necesario el determinar el voltaje del sistema, por tanto, se determinó que será de 48 V. El voltaje se determinó en 48 V y no a un valor menor ya que, con voltajes como 24 V o 12 V, los conductores calculados del sistema eran de muy alto calibre en AWG.

En el dimensionamiento del sistema de acople se realizó lo siguiente: selección del sistema de barras AC, DC o mixtas, dimensionamiento del panel fotovoltaico, dimensionamiento del acumulador de carga, dimensionamiento del regulador de carga, dimensionamiento del inversor, dimensionamiento de conductores y dimensionamiento de protecciones

2.7.1 Selección de sistemas de barras AC, DC o mixtas

En el Capítulo I se trató a detalle acerca de los sistemas de barras colectoras, en este apartado se realizó una comparación entre los distintos sistemas de barras colectoras, AC, DC y mixtas con el fin de seleccionar que tipo de barras utilizar en la planta de generación híbrida.

Un sistema de barras colectoras o bus puede transmitir económicamente grandes cantidades de energía entre una fuente de energía y centros de carga primarios, tales como de un generador a transformador, de transformador a tablero de distribución eléctrica o entre tableros de distribución.

El sistema de bus de AC es comparable en rendimiento al sistema de bus AC / DC. Aquí se afirma que, dado que estará íntimamente relacionado con el consumo de combustible, la electricidad requerida del grupo electrógeno es una métrica más importante. La relación de rendimiento y la fracción solar del sistema de bus de AC son aproximadamente un 6% más bajas que para el sistema de bus de AC / DC, pero la electricidad requerida del generador impulsado por motor es de aproximadamente 13% más. Esto sugiere que el sistema de bus AC / DC funciona significativamente mejor que el sistema de bus AC. (Ross, Turcotte, Roussin, & Fry, 2004)

Tomando en cuenta lo mencionado. Se considera que el bus AC/DC presenta ventajas con respecto a los otros dos tipos para este sistema híbrido. El grupo electrógeno, a diferencia de sí se utilizase un sistema de bus DC, puede alimentar las cargas AC directamente, por otro lado, funciona mejor que un sistema de bus AC como ya fue mencionado. Con este sistema AC / DC se puede aprovechar las ventajas de un sistema AC como el conectar las cargas AC directamente y las ventajas de un sistema DC como el poder realizar conexiones a través de la barra colectora de dispositivos DC, convertidores DC/AC, sistemas de generación de energía como pila de combustible, etc.

2.7.2 Dimensionamiento del número de paneles fotovoltaicos

El panel considerado para todos los cálculos es de 685 W con un tamaño de 2400 mm x 1303 mm, es decir con una superficie de 3.12 m² requiriendo 219.55 Wh/m² ya que, la radiación solar mínima es de 1.99 kWh/m² el panel no tendría ningún inconveniente en generar su potencia nominal. Se consideró este panel ya que, no presenta inconvenientes para generar energía en la zona de la planta, además comparado a otros del mismo tamaño este panel genera más cantidad de potencia aprovechando mejor el área de la zona. (Ver Anexo A)

La ubicación geográfica del Ecuador hace que la duración de los días sea similar durante todo el año, teniendo cada día prácticamente 12 horas diurnas y 12 horas nocturnas (Varela & Ron, 2018)

Considerando lo mencionado y considerando que aún en las horas del día con menor radiación solar el panel fotovoltaico no tendrá problema para generar energía en su potencia nominal.

Con el consumo energético diario se obtuvo el número de paneles fotovoltaicos para cada escenario de funcionamiento. Se consideró el tiempo de duración del día de 12 horas y la potencia del panel de 685 W. Se realizó el cálculo mediante la Ec. (2)

$$n_p = \frac{P_i}{P_p n_h}$$

$$n_{p1} = 273$$

$$n_{p2} = 195$$

$$n_{p3} = 117$$

Por tanto, para, el escenario 1 se calculó 273 paneles, para el escenario 2 se calculó 195 paneles y para el escenario tres se calculó 117 paneles. (Ver Anexo B)

2.7.3 Dimensionamiento del acumulador de carga

Para dimensionar el acumulador de carga, primero se debe seleccionar el tipo de acumulador, en este caso se seleccionó una batería con voltaje nominal de 48 V de 200 Ah de ciclo profundo (Ver Anexo C).

Con lo mencionado primero se calculó el rendimiento de la batería haciendo uso de la Ec. (3)

$$\eta_B = 100\% - 5$$

$$\eta_B = 95\%$$

Con el rendimiento de la batería se procedió a calcular la capacidad del acumulador, para los tres escenarios mediante la Ec. (4)

$$Q_{Ah} = \frac{E_t D_a}{V_{BAT} \eta_B}$$

$$Q_{Ah1} = 49.12 \text{ kAh}$$

$$Q_{Ah2} = 35.08 \text{ kAh}$$

$$Q_{Ah3} = 21.05 \text{ kAh}$$

La capacidad del banco de acumuladores para los distintos escenarios es de 49.12 kAh, 35.08 kAh y 21.05 kAh, respectivamente. Su conexión será de 246 baterías en paralelo para el primer escenario, para el segundo escenario la conexión será de 176 baterías en paralelo y por último para el tercer escenario la conexión será de 106 baterías en paralelo. (Ver Anexo D)

2.7.4 Dimensionamiento del regulador de carga.

Para el dimensionamiento del regulador de carga se tomó en cuenta la corriente de cortocircuito de cada panel fotovoltaico. Se realizó el cálculo mediante la Ec. (5)

$$I_R = 19.01 * Np * 1.25$$

$$I_{R1} = 978 \text{ A}$$

$$I_{R2} = 695 \text{ A}$$

$$I_{R2} = 425 \text{ A}$$

El regulador de carga dimensionado es de 3.6 kA, 2.6 kA y 1.5 kA respectivamente para el escenario 1, escenario 2 y escenario 3 de funcionamiento. (Ver Anexo E)

2.7.5 Dimensionamiento del inversor.

En el dimensionamiento del inversor se tomó en cuenta la potencia máxima del sistema de alumbrado que es de 400 kW, con este dato y comparando los precios de los inversores se optó por seleccionar un solo inversor de 500 kW, tomando en cuenta el factor de seguridad de 1.25. Se optó por un solo inversor ya que, al ser varios no solo se dificulta la conexión, sino que también los costos aumentan significativamente (Ver Anexo F)

2.7.6 Dimensionamiento de los conductores.

El cableado se dimensionó considerando distintos factores de caída máxima de voltaje admisible dependiendo de los tramos, se consideró también la distancia entre los distintos elementos que conforma el sistema y la intensidad en cada tramo de la instalación. La trayectoria del cableado en corriente DC será: paneles-regulador, regulador-baterías, regulador-bus DC, bus DC- inversor, tal como se explica en el diagrama de flujo del sistema. La trayectoria del cableado en corriente alterna partirá desde el inversor hacia el bus AC y también irá conectado el grupo electrógeno al bus AC.

En la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 se resumen los cálculos realizados, indicando el calibre de conductor por tramos, el porcentaje de caída de voltaje con base en los límites admisibles para los tres distintos escenarios. Para la selección del conductor se hizo uso de la Ec. (7). Los cálculos realizados se muestran en el Anexo G. Los cálculos realizados se basaron en la normativa INEN 19:2001.

Tabla 4 Conductores dimensionados Escenario 1

Tramos	Distancia [m]	Corriente [A]	ΔV	Sección [mm²]	Sección comercial en AWG
Paneles-regulador	5	732	1.44 V	86 mm ²	4x4/0

Regulador- baterías	1.5	978	0.48 V	104 mm ²	5x4/0
Regulador- barra DC	1.5	978	0.48 V	104 mm ²	5x4/0
Barra DC- Inversor	1.5	978	0.48 V	104 mm ²	5x4/0
Inversor- Barra AC	5	166.67	2.4 V	11.80 mm ²	3/0
Grupo electrógeno -Barra AC	10	166.67	3.6 V	11.80 mm ²	3/0

Fuente: Autor

En la Tabla 4 se observa de forma clara los conductores dimensionados del escenario 1 para cada tramo del sistema, con base en los cálculos realizados y de acuerdo con medidas estándares de conductores.

Tabla 5 Conductores dimensionados Escenario 2

Tramos	Distancia [m]	Corriente [kA]	ΔV	Sección [mm²]	Sección comercial en AWG
Paneles- regulador	5	520	1.44 V	62 mm ²	4x2/0
Regulador- baterías	1.5	695	0.48 V	74 mm ²	5x3/0
Regulador- barra DC	1.5	695	0.48 V	74 mm ²	5x3/0

Barra DC- Inversor	1.5	695	0.48 V	74 mm ²	5x3/0
Inversor- Barra AC	5	166.67	2.4 V	11.80 mm ²	3/0
Grupo electrógeno- Barra AC	10	166.67	3.6 V	11.80 mm ²	3/0

Fuente: Autor

En la Tabla 5 se observa de forma clara los conductores dimensionados del escenario 2 para cada tramo del sistema, con base en los cálculos realizados y de acuerdo con medidas estándares de conductores.

Tabla 6 Conductores dimensionados Escenario 3

Tramos	Distancia [m]	Corriente [kA]	ΔV	Sección [mm²]	Sección comercial en AWG
Paneles- regulador	5	318	1.44 V	38 mm ²	3x1
Regulador- baterías	1.5	425	0.48 V	46 mm ²	4x1/0
Regulador- barra DC	1.5	425	0.48 V	46 mm ²	4x1/0
Barra DC- Inversor	1.5	425	0.48 V	46 mm ²	4x1/0
Inversor- Barra AC	5	166.67	2.4 V	11.80 mm ²	3/0

Grupo electrógeno- Barra AC	10	166.67	3.6 V	8 mm ²	3/0
-----------------------------------	----	--------	-------	-------------------	-----

Fuente: Autor

En la Tabla 6 se observa de forma clara los conductores dimensionados del escenario 3 para cada tramo del sistema, con base en los cálculos realizados y de acuerdo con medidas estándares de conductores.

2.7.7 Dimensionamiento de las protecciones.

- Protecciones en corriente continua: para dimensionar estas protecciones se consideró la corriente de corto circuito de los paneles fotovoltaicos y un factor de seguridad. Para realizar el cálculo se utilizó la Ec. (8)

$$I_{\max} = I_{sc} 1.25$$

$$I_{\max1} = 915 \text{ A}$$

$$I_{\max2} = 650 \text{ A}$$

$$I_{\max3} = 398 \text{ A}$$

Las protecciones corresponden a los tres distintos escenarios respectivamente. Estas protecciones conciernen específicamente al circuito de paneles solares que generan toda la energía renovable de la planta híbrida. (Ver Anexo H)

- Protecciones en corriente alterna: para calcular la protección requerida en corriente alterna se consideró los parámetros de voltaje y demanda máxima del sistema. Para realizar el cálculo se utilizó la Ec. (9)

$$I_{\max} = \frac{P}{V f_p} \text{ [A]}$$

$$I_{\max} = 166.67 \text{ A}$$

La protección corresponde al circuito del grupo electrógeno. Puesto que en los tres escenarios el grupo electrógeno alimentará al circuito de iluminación a plena carga, la protección es igual para cada uno de estos escenarios. (Ver Anexo H)

2.7.8 Dimensionamiento de la puesta a tierra.

La puesta a tierra de la instalación fotovoltaica conectará eléctricamente las estructuras y los soportes de los paneles solares, del regulador, de las baterías, carcasa del inversor hacia una varilla copperweld, esta varilla se instalará en la parte posterior de la piscina del campus. La varilla seleccionada es de una longitud de 2.20m y un diámetro de 1.5cm, misma que será enterrada bajo tierra, además de que el suelo será adecuado para bajar la resistividad del terreno con un gel con sales minerales específico para mejorar el terreno en puestas a tierra.

2.8 Determinación del consumo del grupo electrógeno

La Universidad Técnica del Norte posee un grupo electrógeno de 450 kVA, el consumo de combustible en su capacidad nominal es de 91 l/h. Puesto que la potencia máxima requerida por el sistema de alumbrado es de 400 kW, el grupo electrógeno puede alimentar al sistema de alumbrado público funcionando al 100% de su capacidad.

La potencia máxima del sistema de alumbrado público del campus es de 400 kW. Existe un grupo electrógeno de 450 kVA el cual permite la alimentación del sistema de alumbrado público funcionando a su máxima potencia.

Para calcular el consumo exacto de combustible del grupo electrógeno se considera su consumo que es de 91 l/h al generar 450 kVA. Se transformó los 400 kW a kVA con el fin de trabajar en las mismas unidades. Se consideró un factor de potencia del sistema de 0.92 que es el mínimo admisible por la REGULACIÓN Nro. ARCONEL 005/17

Los 400 kW con un factor de potencia de 0.92 es 434.78 kVA. Con este valor se calculó el consumo exacto de combustible del grupo electrógeno alimentando al sistema de alumbrado en su potencia nominal y funcionando a la mitad de su potencia nominal (Ver Anexo I)

Tabla 7 Consumo de combustible del grupo electrógeno de 450 kVA

Consumo de combustible del grupo electrógeno	
Potencia aparente en kVA	Consumo de combustible en l/h
450	91
434.78	87.92

217.39	43.96
--------	-------

Fuente: Autor

La Tabla 7 resume el consumo del grupo electrógeno cuando trabaja a diferentes potencias de su potencia nominal. Las potencias consideradas son las del sistema de alumbrado público del campus funcionando al 100% de su potencia y al 50%.

2.9 Resultados del dimensionamiento del sistema híbrido

En la Tabla 8 se tiene un resumen de los resultados obtenidos del dimensionamiento del sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno, como se puede ver a continuación.

Tabla 8 Resultados del dimensionamiento del sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO		
Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Paneles fotovoltaicos		
273 u	195 u	117 u
Acumulador de carga		
49.12 kWh	35.08 kWh	21.05 kWh
246 baterías 200 Ah	176 baterías 200 Ah	106 baterías 200 Ah
Regulador de carga		
978 A	695 A	425 A
Inversor		

500 kW	500 kW	500 kW
--------	--------	--------

Fuente: Autor

Dentro de la Tabla 8 se especifica el número de paneles fotovoltaicos, el dimensionamiento del acumulador de carga, regulador, inversor y consumo de combustible para los tres escenarios de funcionamiento planteados.

2.10 Diseño del sistema de generación híbrido

Con el dimensionamiento de todos los equipos, así como sus especificaciones técnicas se realizó el diseño del sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno, para lo cual se hizo uso del software AutoCAD ya que, este programa brinda las facilidades para realizar esquemas de conexiones eléctricas. (Ver Anexo J)

Capítulo III Análisis económico

El presente capítulo contiene, el análisis económico del sistema de generación híbrido dimensionado en el Capítulo II. Para realizar el análisis se hace uso de criterios de evaluación de proyectos que permitan el cálculo de los costos tales como: costos de inversión inicial, costo nivelado de energía y costos de operación y mantenimiento. Se hace uso también de indicadores financieros tales como: valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).

3.1 Parámetros para evaluar la viabilidad económica del proyecto

Para la evaluación económica se requiere de varios criterios y métodos para evaluar la rentabilidad del proyecto. Se requiere realizar un flujo de caja en función de la inversión total y el costo nivelado de la energía generada por el sistema híbrido. Se midió la rentabilidad a través de indicadores financieros como son: Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). Con todo lo mencionado se presenta la metodología y parámetros económicos requeridos para determinar la viabilidad económica del proyecto.

3.1.1 Costo de inversión inicial

La inversión inicial es el capital con el cual se inicia un proyecto incluyendo costo total de los equipos necesarios para la instalación, costos de transporte, costos de impuestos, etc. (Carrion, 2020). El costo total de una instalación fotovoltaica se obtiene mediante la Ec. (10) (Loachamin, 2016)

$$C_T = C_{PV} + C_{inv} + C_{bat} + C_{reg} + C_{otros} \quad (10)$$

Donde C_T = costo total de la instalación fotovoltaica [\$]; C_{PV} = costo total del módulo fotovoltaico [\$]; C_{inv} = costo total de inversor [\$]; C_{bat} = costo de baterías [\$]; C_{reg} = costo total de las baterías [\$]; C_{otros} = costo de otros componentes [\$]

3.1.2 Costo nivelado de energía (LCOE)

La metodología de costo nivelado de energía permite cuantificar el costo unitario de la energía en USD/kWh generada durante el ciclo de vida del sistema híbrido, siendo así posible el comparar el costo de la energía producido de diferentes fuentes de energía. Este método también puede ser utilizado para determinar costos relacionados a la inversión, operación y mantenimiento. (Loachamin, 2016)

El costo nivelado de energía se expresa como el precio de equilibrio único donde los futuros egresos descontados a valor presentes son iguales a la producción energética también descontada. Se calcula mediante la Ec. (11) (Loachamin, 2016)

$$LCOE = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{Egresos_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{Producción_j}{(1+i)^j}} \quad (11)$$

Donde: LCOE= es el costo nivelado de energía; n = tiempo de vida de la central; i = tasa de descuento

3.1.3 Costo de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento son todos los rubros relacionados al mantenimiento de los diferentes equipos del sistema, así como su instalación, insumos, herramientas y repuestos. Dentro de estas actividades se encuentran la conservación y limpieza de los elementos principales de la instalación que son: paneles solares, inversores, baterías, grupo electrógeno. (Loachamin, 2016)

3.1.4 Flujo de caja

Mediante el flujo de caja se presenta los ingresos y egresos netos de dinero de un proyecto en un periodo determinado, con esto se puede medir la liquidez de una empresa o proyecto. El flujo de caja se utiliza para analizar la viabilidad de proyectos siendo la base para el cálculo de indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). (Carrion, 2020)

3.1.5 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto es un indicador financiero con el cual se puede determinar la viabilidad de un proyecto. Un proyecto es viable si existe una ganancia tras medir los flujos de los egresos e ingresos futuros y descontar la inversión inicial, es decir si el VAN es igual o mayor a cero el proyecto es viable. (Molina A. , 2017). El van se calcula mediante la Ec (12) (Rankia, 2021)

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{Q_n}{(1+TD)^t} - I_o \quad (12)$$

Donde N = número de periodos; Q_n = flujo de caja en el periodo N; TD = tasa de descuento; I_o = Inversión inicial

3.1.6 Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno o TIR es un indicador financiero el cual permite conocer si es viable un proyecto. Si el TIR es mayor que la TD el proyecto es viable, por otro lado, si es menor a la TD el proyecto no es viable. La TIR muestra un valor de rendimiento interno de la empresa expresado en porcentaje. Para el cálculo de la TIR se utiliza la fórmula de Van igualada a cero, expresada en la Ec. (13) (Rankia, 2021)

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{Q_n}{(1+TD)^t} - I_o = 0 \quad (13)$$

Donde N = número de periodos; Q_n = flujo de caja en el periodo N; TD = tasa de descuento; I_o = Inversión inicial

3.1.7 Periodo de recuperación de inversión (PRI)

El PRI es un indicador de los más usados en inversionistas para medir cuánto tiempo tomará el recuperar el total de la inversión de un proyecto al valor presente. Este indicador revela con exactitud en años, meses y días la fecha en la cual será recuperada la inversión inicial. EL PRI se calcula mediante la Ec. (14) (Molina A. , 2017)

$$PRI = a + \left(\frac{a}{b}\right) \quad (14)$$

Donde a = periodo del último flujo negativo; b = valor absoluto del último flujo negativo; c = valor del flujo siguiente

3.2 Análisis económico

El análisis económico consiste en la evaluación de la rentabilidad del proyecto. Este análisis se realiza con los componentes definidos en el capítulo anterior y la metodología expuesta previamente en este capítulo.

Con base en el diseño y dimensionamiento realizado en el Capítulo II se presentan los elementos que conforman el sistema FV (elementos, cantidad)

Grupo electrógeno (En funcionamiento)

Barras (si se conecta a barras de la universidad)

Costos y amortización de costos en los 3 escenarios

En que consta el análisis económico Van, TIR

3.2.1 Cálculo de inversión inicial del sistema de generación fotovoltaico

Se presentan a continuación en la Tabla 9 los costos de los diferentes equipos que conforman el sistema fotovoltaico. Los elementos son de importación ya que, en el Ecuador no se fabrican estos equipos. Los equipos más importantes fueron cotizados en la plataforma Alibaba que tiene un catálogo con amplia gama de productos de todo tipo incluyendo elementos fotovoltaicos a costos muy competitivos. La cotización de los diferentes equipos que conforman la planta fotovoltaica se encuentra en el Anexo K.

Tabla 9 Inversión inicial del sistema de generación fotovoltaico

Cantidad [u]	Equipo	Precio unidad [USD]	Precio total [USD]
Escenario 1			
273	Panel fotovoltaico silicio monocristalino	130.15	35530.95
246	Pack Batería de iones de litio	890.00	218940
9	Regulador de carga solar MPPT	139.00	1251
1	Inversor solar de onda sinusoidal	6000	6000
1	Conjunto eléctrico: cableado, aisladores, protecciones, varilla copperweld	350	350
Total=			262071.95
Escenario 2			
195	Panel fotovoltaico silicio monocristalino	130.15	25379.25
176	Pack Batería de iones de litio	890.00	156640
6	Regulador de carga solar MPPT	139.00	834
1	Inversor solar de onda sinusoidal	6000	6000

1	Conjunto eléctrico: cableado, aisladores, protecciones, varilla copperweld	300	300
Total=			189153.25
Escenario 3			
117	Panel fotovoltaico silicio monocristalino	143.85	16830.45
106	Pack Batería de iones de litio	890.00	94340
4	Regulador de carga solar MPPT	139.00	556
1	Inversor solar de onda sinusoidal	6000	6000
1	Conjunto eléctrico: cableado, aisladores, protecciones, varilla copperweld	250	250
Total=			117976.45

Fuente: Autor

En la Tabla 9 se detallan los costos de los diferentes equipos que conforman el sistema fotovoltaico para los tres escenarios planteados. Como se puede observar el primer escenario es el más costoso ya que, en este escenario se planteó que la planta fotovoltaica alimentara en un 70% al sistema de iluminación pública del campus. El tercer escenario presenta el costo más bajo debido a que en este escenario se planteó que la planta fotovoltaica alimentara el 30% al sistema de iluminación pública del campus. Los costos de paneles fotovoltaicos en el tercer escenario son distintos ya que, debido a la cantidad de paneles fotovoltaicos el precio varía.

Para los tres escenarios se seleccionaron los mismos equipos principales del sistema fotovoltaico, paneles fotovoltaicos, regulares de carga, baterías e inversor. La diferencia principal en los costos radica en el número de elementos para cada escenario

Debido a que estos equipos cotizados son de importación se debe considerar costos extras por transporte y sus debidos impuestos. Para los costos de importación se consideró el incoterm FOB por sus siglas en inglés "Free on Board", un incoterm exclusivo del transporte marítimo donde el vendedor es el responsable del empaquetado y embalaje.

Se realizó la cotización del transporte en el Anexo L. Donde se detalla el cálculo realizado para los valores extras en cada uno de los escenarios, valores de transporte e impuestos.

Tabla 10 Costos de transporte e impuestos

Escenario	Transporte [USD]	Impuesto [USD]	Total [USD]
Escenario 1	18195	870.12	19065.12
Escenario 2	13090	820.08	13910.08
Escenario 3	8000	786.72	8786.72

Fuente: Autor

La Tabla 10 muestra los costos de transporte para cada uno de los escenarios. En Ecuador se fomenta la instalación de sistemas de energía renovable de cualquier tipo exonerando el pago de aranceles e impuestos a los elementos requeridos para la misma. (Consejo Nacional de Planificación, 2017) (COMEX, 2017)

Tabla 11 Resumen de costos totales de las plantas fotovoltaicas para los tres escenarios planteados

Costos totales			
Escenario	Costo Inicial	Transporte +Imp	Total
Escenario 1	262071.95	19065.12	281137.07
Escenario 2	189153.25	13910.08	203063.33
Escenario 3	117976.45	8786.72	126763.17

Fuente: Autor

La Tabla 11 muestra los costos totales de las plantas fotovoltaicas para los distintos escenarios planteados, como era de esperar el primer escenario es el más costoso debido a que su dimensionamiento fue diseñado para más producción y aprovechamiento de energía,

acorde al 70% de la demanda del sistema de iluminación. Por otro lado, el tercer escenario es el menos costoso debido a que de igual forma en su dimensionamiento este escenario planteaba el alimentar solamente el 30% de la demanda del sistema de iluminación. Evidentemente el segundo escenario presenta un costo más equilibrado.

3.2.2 Cálculo de costo nivelado de energía (LCOE)

Para realizar el costo nivelado de energía primero se definieron parámetros económicos, se consideró una base de descuento referencial del 7% administrada por el Banco Central del Ecuador. Se realizaron los cálculos considerando un tiempo de vida útil de 25 años, esto se determinó contemplando la vida útil de los paneles fotovoltaicos.

Para las labores de operación y mantenimiento se estimó un valor de 0 ya que, las tareas de mantenimiento no son más que la limpieza de los equipos y revisiones técnicas periódicas, mismas que se pueden realizar por el personal técnico del campus.

Tabla 12 Parámetros para determinar la viabilidad económica del sistema de generación híbrido

Parámetros	Valor
Periodo de inversión	25 años
Costo total del sistema escenario 1	USD 281137.07
Costo total del sistema escenario 2	USD 203063.33
Costo total del sistema escenario 3	USD 126763.17
Costos por reemplazos de equipos escenario 1	USD 226191
Costos por reemplazos de equipos escenarios 2	USD 163474
Costos por reemplazos de equipos escenario 3	USD 100896

Generación de energía anual (kWh/año) escenario 1	817600 kWh/año
Generación de energía anual (kWh/año) escenario 2	584000 kWh/año
Generación de energía anual (kWh/año) escenario 3	350400 kWh/año
Tasa de descuento	3 a 8.68%
Costo de operación y mantenimiento	USD 0
Tasa de degradación de paneles FV	5%

Fuente: Autor

La Tabla 12 contiene los parámetros económicos y técnicos resumidos para la realización del cálculo del costo nivelado de energía. Los costos de sustitución, así como la generación anual se encuentran detallados se encuentran en el Anexo M.

Tabla 13 Valores de costo nivelado de la energía (LCOE) para los tres escenarios

Escenario	Costo nivelado de la energía (LCOE) [USD/kWh]
Escenario 1	0.36
Escenario 2	0.36
Escenario 3	0.38

Fuente: Autor

La Tabla 13 Contiene los valores de LCOE en USD para cada escenario, los detalles de los cálculos se encuentran en el Anexo N. Se puede apreciar que el escenario 1 y el escenario 2 tiene un LCOE de 0.36 USD, mientras que el tercer escenario tiene un LCOE más alto, de 0.38 USD, se evidencia una diferencia debido a que por el tamaño de la planta los paneles

fotovoltaicos se adquirieron a un precio superior al de los otros dos escenarios, por ende, su LCOE es más alto también.

Respecto a los costos de producción de energía, en comparación con costos de generación convencionales como la generación hidráulica o fósil es alto, como se puede observar en la Figura 11

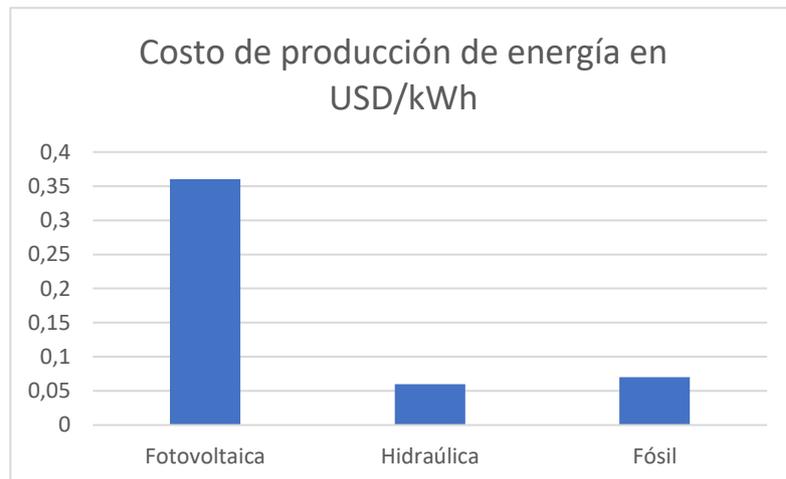


Figura 11 Costo de producción de energía en USD/kWh
Fuente: Autor

El costo de producción de energía de la energía fotovoltaica en Ecuador es de USD/kWh 0.13, pero este costo no contempla valores de bancos de baterías (INGENIUS, 2018). Debido a que la planta va a consumir toda la energía cuando no se esté generando energía, es decir por las noches, el banco de baterías necesario es de un costo muy alto. El costo nivelado de la energía depende en gran parte a los costos de los distintos elementos necesarios para la instalación, por ende, si los costos de la instalación suben debido al gran banco de baterías que tiene, el valor de LCOE es alto, acorde a los valores de la instalación. Los costos de producir energía fotovoltaica en Ecuador también son altos debido a que los principales elementos que conforman la planta fotovoltaica son de importación ya que, no se producen a nivel nacional y por ende se elevan los precios por tarifas de envíos, etc.

3.2.3 Cálculo de flujo de caja

Con los valores establecidos de LCOE y considerando los parámetros económicos de la Tabla 12, se realizó el flujo de caja de manera gráfica para los tres distintos escenarios, esto con el fin de observar los egresos y producción de energía traducido en dinero para conocer el comportamiento del proyecto de manera rentable.

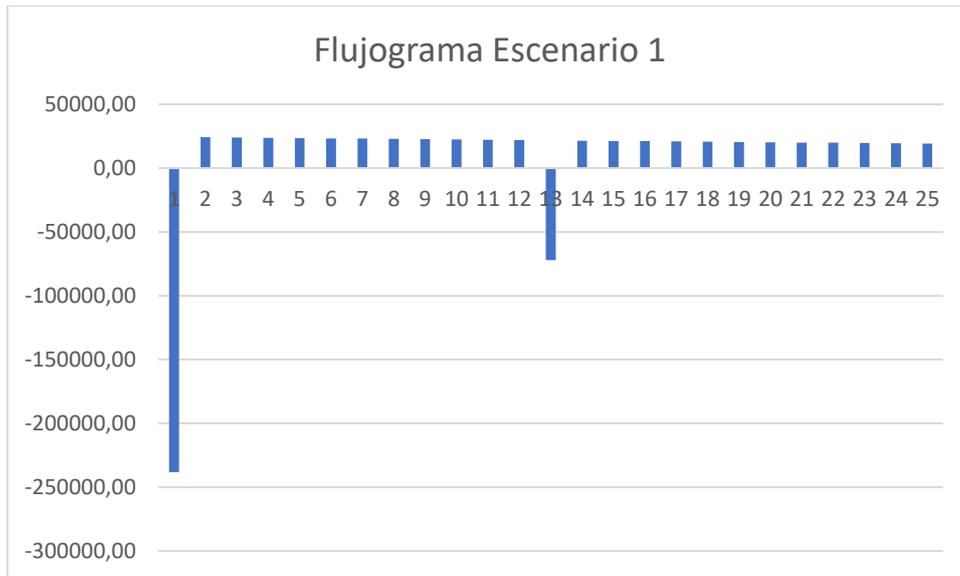


Figura 12 Flujograma escenario 1
Fuente: Autor

La Figura 12 presenta el flujograma del primer escenario. Para este flujograma se consideró parámetros de costos iniciales, transporte, impuestos, costos de operación, mantenimiento y costos por sustitución. Se puede observar que para el año 12 todo luce favorable, sin embargo, se considera un costo extra por sustitución en el año 13 de varios elementos del sistema llevado a un valor futuro con una tasa de descuento del 7%.

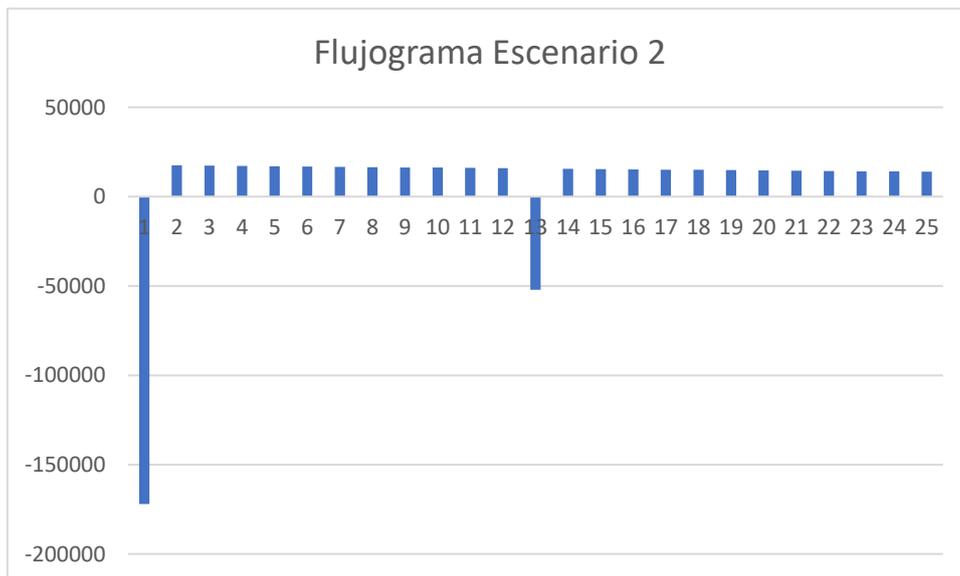


Figura 13 Flujograma escenario 2
Fuente: Autor

La Figura 13 presenta el flujograma del segundo escenario. De igual forma para este flujograma se consideró parámetros de costos iniciales, transporte, impuestos, costos de operación, mantenimiento y costos por sustitución. Se puede observar que para el año 12

todo luce favorable, sin embargo, se considera un costo extra por sustitución en el año 13 de varios elementos del sistema llevado a un valor futuro con una tasa de descuento del 7%.

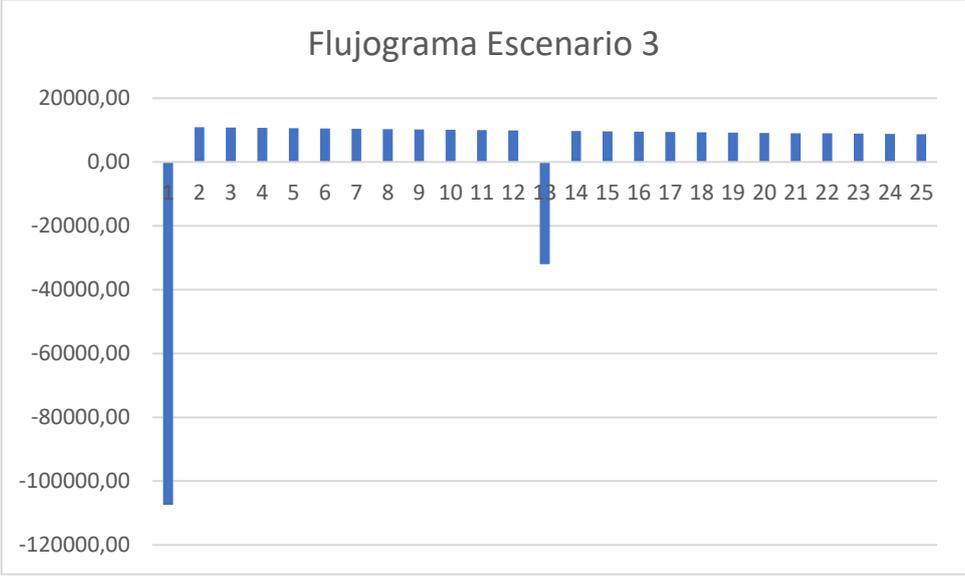


Figura 14 Flujograma escenario 3
Fuente: Autor

La Figura 14 presenta el flujograma del tercer escenario. De igual forma para este flujograma se consideró parámetros de costos iniciales, transporte, impuestos, costos de operación, mantenimiento y costos por sustitución. Se puede observar que para el año 12 todo luce favorable, sin embargo, se considera un costo extra por sustitución en el año 13 de varios elementos del sistema llevado a un valor futuro con una tasa de descuento del 7%.

Los costos de sustitución son altos, sin embargo, al llevarlos a valor actualizado con una tasa de descuento del 7% los valores bajan considerablemente para los tres escenarios. Mediante los flujogramas se puede observar el comportamiento de los tres escenarios de forma rentable. Con esto puede proceder al cálculo de otros indicadores económicos como son el Van y el TIR.

3.2.3 Cálculo de indicadores financieros

Con el flujograma realizado para cada uno de los escenarios se procedió a realizar el cálculo del VAN y TIR, estos indicadores permiten conocer si el proyecto en cuestión es rentable económicamente hablando o no. Al igual que en el flujograma se consideró un periodo de vida útil de 25 años con una tasa de descuento del 7% y todos los costos que influyen en cada escenario.

Tabla 14 Resumen de indicadores financieros LCOE, VAN y TIR

Indicadores financieros	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
LCOE	0.36	0.36	0.38
VAN	188528.67	136132.34	85459.81
TIR	6%	6%	6%
Escenarios sin costos por reemplazo			
VAN	282389.89	203968.23	127328.06
TIR	8%	8%	8%

Fuente: Autor

En la Tabla 14 se resume los resultados obtenidos de los cálculos de los indicadores LCOE, VAN y TIR. Como se puede observar Para los tres escenarios se tiene un VAN positivo mayor a 0, sin embargo, debido a los costos por reemplazos de equipos el TIR resulta ser menor que la tasa de descuento del 7% y, por tanto, el proyecto no es viable económicamente. Se realizó los cálculos del VAN y TIR excluyendo los costos por reemplazo de equipos y como era de esperarse los resultados cambiaron haciendo que el VAN sea mayor que 0 y que el valor de TIR sea mayor a la tasa de descuento, haciendo que el proyecto sea viable económicamente. Todos los cálculos realizados para encontrar el VAN y TIR se encuentran en el Anexo N.

3.2.4 Cálculo de periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión inicial por sus siglas en inglés "PRI", se muestra de manera gráfica en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 para los tres escenarios respectivamente. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo O.

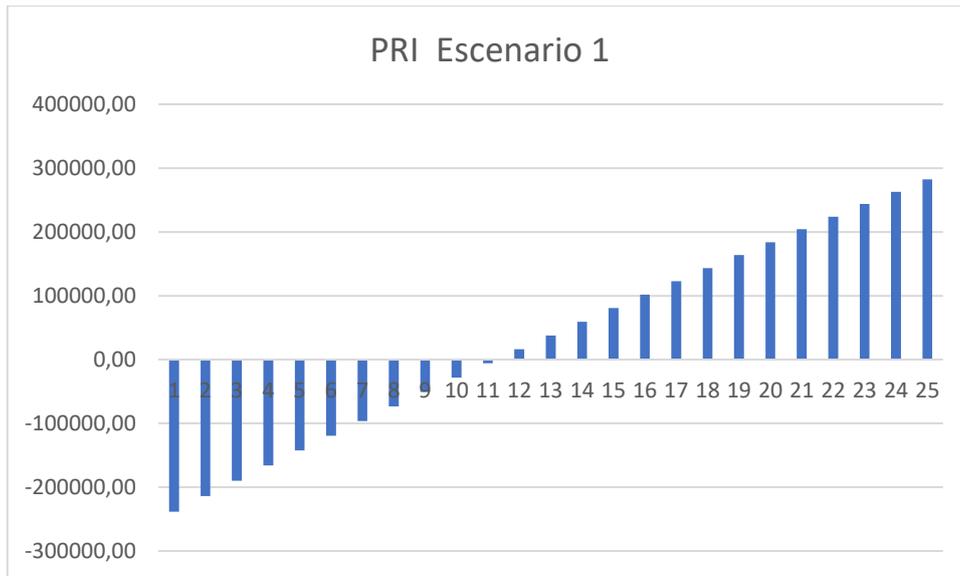


Figura 15 Periodo de recuperación de la inversión del Escenario 1
Fuente: Autor

La Figura 15 presenta de manera gráfica el periodo de recuperación de la inversión inicial del primer escenario. El PRI para este escenario es de 11 años, 4 meses y 2 días. Se consideró el costo total de la inversión inicial y el valor de LCOE correspondiente de 0.36 USD/kWh. Tomando en cuenta el periodo de vida útil se considera que el tiempo para el retorno de la inversión es sensato.

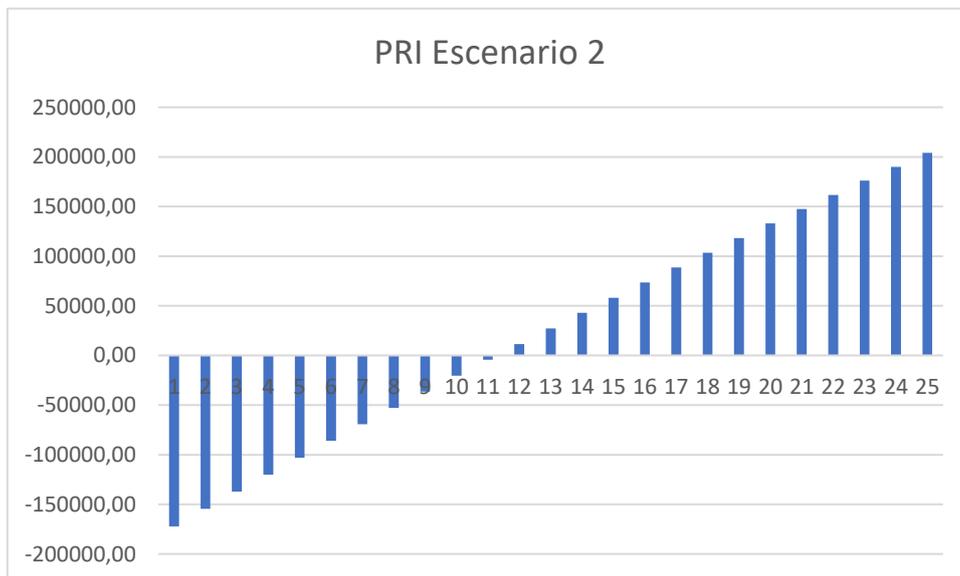


Figura 16 Periodo de recuperación de la inversión del Escenario 2
Fuente: Autor

La Figura 16 presenta de manera gráfica el periodo de recuperación de la inversión inicial del segundo escenario. El PRI para este escenario es de 11 años, 4 meses y 2 días. Se consideró el costo total de la inversión inicial y el valor de LCOE correspondiente de 0.36

USD/kWh. Tomando en cuenta el periodo de vida útil se considera que el tiempo para el retorno de la inversión es sensato.

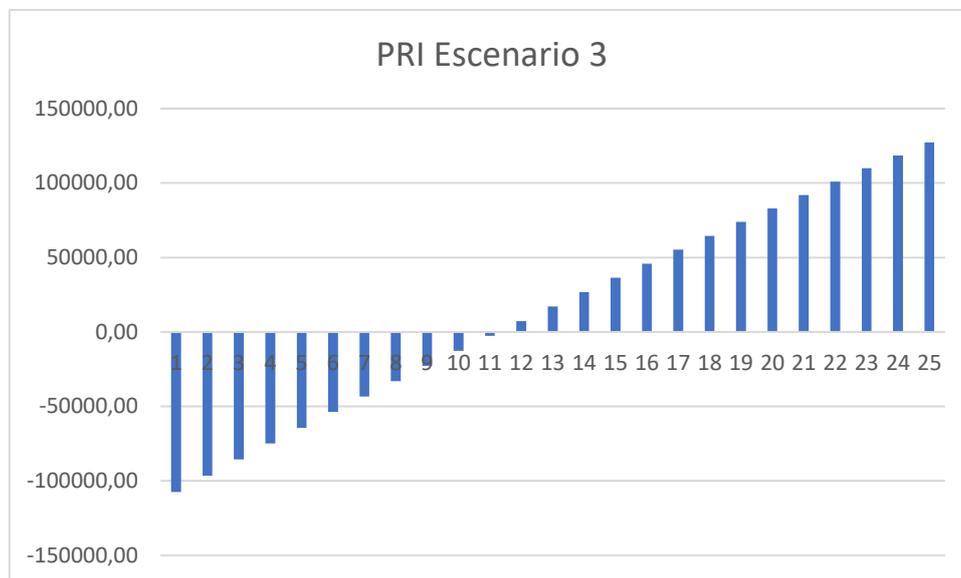


Figura 17 Periodo de recuperación de la inversión del Escenario 3
Fuente: Autor

La Figura 17 presenta de manera gráfica el periodo de recuperación de la inversión inicial para el tercer escenario. El PRI para este escenario es de 11 años, 4 meses y 2 días. Se consideró el costo total de la inversión inicial y el valor de LCOE correspondiente de 0.38 USD/kWh. Tomando en cuenta el periodo de vida útil se considera que el tiempo para el retorno de la inversión es sensato.

3.1 Resultados de análisis económico

Mediante los cálculos de los indicadores financieros LCOE, VAN y TIR se pudo determinar la viabilidad del proyecto de manera económica. Con una tasa de descuento del 7% y sin considerar los costos por reemplazos de equipos, se obtuvo un VAN positivo indicando viabilidad. Con las mismas condiciones el indicador TIR alcanza un valor superior a la tasa de descuento del 7%, indicando un panorama alentador demostrando que el proyecto es viable económicamente hablando. Por otro lado, en un panorama donde se contemplan costos de reemplazos de equipos para los tres escenarios, el Van sigue siendo positivo indicando viabilidad, sin embargo, el indicador TIR es inferior al valor de la tasa de descuento del 7% indicando así que el proyecto no se puede aceptar ya que, no es viable económicamente hablando.

El periodo de recuperación de la inversión para los tres escenarios es alentador ya que, en tan solo 11 años, 4 meses y 2 días se recupera el costo de la inversión inicial. Sin embargo, se considera también que este costo inicial para cualquiera de los escenarios es alto debido a que toda la energía será destinada a la iluminación por las noches, es decir cuando no se esté produciendo energía fotovoltaica y para aprovechar la energía generada se necesita de un sistema de acumulación de energía muy grande elevando mucho los costos del sistema fotovoltaico en general.

El costo del sistema fotovoltaico para cualquiera de los tres escenarios se reduciría significativamente si este estuviera conectado a la red (SFVCR), debido a que según la Regulación Nro. ARCONEL 003/18 dice que la energía generada por este tipo de sistemas puede ser inyectada a la red eléctrica y esta energía que es entregada se descontaría de la factura de energía consumida. De esta forma, aunque se dependería en parte de la red eléctrica, se reduciría drásticamente su consumo y se eliminarían los costos del sistema de almacenamiento. Para el SFVCR lo único que se debería cambiar es el inversor, el cual ahora debe incluir un sistema de sincronización para la correcta conexión con la red y se debe colocar también un medidor bidireccional.

Por otro lado, se consideró también las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) producidas debido al uso del combustible. El grupo electrógeno al ser un generador que funciona a base de la combustión del Diesel emana CO_2 al ambiente, se calculó que en el sistema propuesto produciría 200.2 t CO_2 /año en el primer escenario, 333.7 t CO_2 /año en el segundo escenario y 467.2 t CO_2 /año en el tercer escenario, las emanaciones en el primer escenario son las menores debido a que el grupo electrógeno genera solamente un 30% de la energía total consumida y a pesar de ser el de menor valor, todos los escenarios tienen emanaciones considerablemente altas. (Ver anexo P)

El costo de LCOE del sistema fotovoltaico de los tres escenarios es alto en comparación del costo del producir energía de la manera tradicional. El costo de la producción de energía mediante el grupo electrógeno es solamente de 0.07 USD/kWh mientras que con la instalación fotovoltaica es de 0.36 USD/kWh o hasta de 0.38 USD/kWh para el tercer escenario. También cabe destacar que el costo de la energía generada por el grupo electrógeno se calculó con el precio del combustible a día de aceptación de la realización de este proyecto, hoy en día el precio del combustible subió y es inestable.

Conclusiones

- A través del análisis de las diferentes estructuras de generación híbridos se estableció varias opciones de sistemas de generación híbridos de los cuales seleccionar el más idóneo para la aplicación requerida. Dentro de estos sistemas se destacan los sistemas que incluían un sistema de generación de fuente renovable y sistema de generación mediante combustible fósil. Se determinó los principales componentes que se iban a requerir en el diseño del sistema y además se expuso las ventajas de contar con un sistema de generación que no dependa netamente de una fuente renovable, al tener en su configuración a un grupo electrógeno.
- Mediante una evaluación de los recursos energéticos existentes en el campus de la Universidad Técnica del Norte se determinó que el recurso solar era el más idóneo técnicamente hablando para dimensionar el sistema de generación, debido a que este recurso es constante y con un rango de radiación entre 4.48 – 6.71 kWh/m², a diferencia del recurso eólico el cual es irregular. Se optó por un sistema de gestión de energía mixto, es decir de un sistema de barras AC / DC debido a que este sistema presentaba ventajas para este sistema híbrido, frente a un sistema de barras AC o un sistema de barras AC. Mediante fórmulas matemáticas se dimensionó los diferentes elementos que conforman el sistema fotovoltaico, diseñando finalmente el sistema de generación híbrido fotovoltaico-grupo electrógeno requerido.
- Con la realización del estudio de factibilidad económica, se determinó que el costo de LCOE para los tres escenarios es de 0.36 USD/kWh para el escenario 1 y 2, y de 0.38 USD/kWh para el escenario 3, valores altos en comparación con otros sistemas de generación más tradicionales. El periodo de tiempo en el cual se recupera la inversión es prudente ya que, se recupera en aproximadamente la mitad del tiempo de vida útil del proyecto. El proyecto es viable para cualquiera de los tres escenarios siempre y cuando no existan costos por sustituciones en el sistema fotovoltaico ya que, para estos casos el VAN es positivo y la TIR es mayor a la tasa de descuento, evidenciando su viabilidad económica. Por otro lado, considerando los costos de sustitución, ninguno de los tres escenarios es viable porque a pesar de que el VAN es positivo, el indicador TIR es menor a la tasa de descuento evidenciando así que ninguno de los tres escenarios es viable económicamente en esta situación.

Recomendaciones

- En estudios futuros se podría considerar otra tecnología de almacenamiento debido a que el sistema de acumulación de energía mediante baterías de litio es sumamente costoso para aplicaciones donde se requiera utilizar la energía cuando esta no se esté produciendo y se requiera de un sistema de acumulación de energía grande.
- Se podría realizar análisis económicos con plantas de generación renovables conectadas a la red, no con el fin de alimentar propiamente a una instalación del campus, sino más bien inyectar energía a la red para descontar de la factura de la energía consumida por el campus, evitando así un sistema de almacenamiento de energía y reduciendo costos.

REFERENCIAS

- Agencia de regulación y control de electricidad. (04 de 2020). *regulacionelectrica.gob.ec*.
Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
- Al-Tameemi, Z. H., Latif, H. k., & Abass, F. (October de 2018). *Researchgate.net*. Obtenido de A review of Hybrid Generation System. International Journal of Engineering & Technology:
https://www.researchgate.net/publication/328738205_A_Review_of_Hybrid_Generation_Systems/link/5be00cb7a6fdcc3a8dbedf63/download
- Álvarez, J. C. (2019). *Bibliotecadigital.udea.edu.co*. Obtenido de Universidad de Antioquia:
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15377/1/PerezJuan_2019_Guia_DimensionamientoSistemas.pdf
- Arévalo, D. F. (2016). *Repositorio.utp.edu.co*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnología Mecánica :
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6726/621312136A683.pdf?sef?sef>
- Arrequip. (2021). Obtenido de <https://arrequip.cl/como-funcionan-los-generadores-parte-2-componentes/>
- Arya, V. (Septiembre de 2020). *Researchgate.net*. Obtenido de Voltage Regulator :
https://www.researchgate.net/publication/344374689_Voltage_Regulators
- Ávila, S. S. (Agosto de 2017). *Scielo.org.co*. Obtenido de Revista científica CIDC:
<http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n30/2344-8350-cient-30-00263.pdf>
- Barboza, M. A. (2011). *Dspace.uclv.edu*. Obtenido de Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas:
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6934/Milton%20Antonio%20Barboza%20Huete.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buele, C. O., & Chazi, A. M. (Diciembre de 2019). *Dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18210/1/UPS-CT008653.pdf>
- Carrion, C. (2020). *Guía Para la Evaluación del Presupuesto de Capital Mediante el Uso de las Técnicas VAN - TIR - PRI*. Obtenido de Universidad Técnica de Machala:
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15229/1/E-10708_CARRION%20RAMIREZ%20CLAUDIA%20MARCELA.pdf
- Cassula, A., Prado, P. O., Silveira, J. L., & Roberts, J. J. (Septiembre de 2017). *Researchgate.net*. Obtenido de Dimensionamiento de Sistemas Híbridos de Generación de Energía:
https://www.researchgate.net/publication/321170485_Dimensionamiento_de_Sistemas_Hibridos_de_Generacion_de_Energia
- Castilla, A. M. (Junio de 2016). *Tauja.ujaen.es*. Obtenido de Universidad de Jaén :
http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/3438/1/TFG_Mariscal_Castilla_Alfonso.pdf
- Cenitsolar. (2021). *Cenitsolar.com*. Obtenido de http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php
- Cenitsolar. (2021). *Cenitsolar.com*. Obtenido de http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_red_esquema.php

- Click Renovables. (21 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/431579172/Como-Calcular-Una-Instalacion-Solar-Fotovoltaica-en-5-Pasos-Click-Renovables>
- COMEX. (2017). *COMITE DE COMERCIO EXTERIOR*. Obtenido de RESOLUCIÓN No. 020-2017: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-12/Documento_Resoluci%C3%B3n-020-2017-COMEX.pdf
- CONELEC. (19 de Diciembre de 2006). *regulacionelectrica.gob.ec*. Obtenido de Regulación No. CONELEC - 009/06 Precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-PreciosRenovables4.pdf>
- Consejo Nacional de Planificación. (2017). *planificacion.gob.ec*. Obtenido de Plan de desarrollo nacional 2017-2021: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
- Cueva, L. V. (Abril de 2015). *Bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10538/1/CD-6238.pdf>
- Fahmy, M., & Nabih, H. (May de 2016). *Reader.elsevier.com*. Obtenido de Univariate and multivariate methods for very shor-term solar photovoltaic power forecasting: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0196890416303934?token=0F361A9AA86CF03F3374378A30F4D302DBB082BB416C6E458E4E036C5D568476CE09F77E7733D943EAF592A2C3CFD488>
- Font, E. V. (agosto de 2020). *obtienearchivo,bcn,cl*. Obtenido de Energías renovables y no renovables: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN_Energia_renovable_y_no_renovable_ventajas_y_desventajas_final.pdf
- Forero, C. A., Valencia, J. A., & Sierra, F. E. (Abril de 2016). *Redalyc.org*. Obtenido de Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225144432007.pdf>
- Fueltan, E. P. (Diciembre de 2019). *RepositorioUTN.edu.ec*. Obtenido de Universidad Técnica del Norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10103/2/04%20MEL%20076%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Gimenez, J. M., & Gómez, J. C. (18 de Julio de 2011). *Scielo.org.co*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n169/a11v78n169.pdf>
- González, M. A. (Agosto de 2019). *Uaslp.mx*. Obtenido de Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica. Conacyt-Facultad de Ingeniería : <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/238/238-05.pdf>
- Google Maps. (05 de 06 de 2021). *google.com.ec*. Obtenido de [google.com.ec/maps: https://www.google.com.ec/maps/place/Universidad+Tecnica+del+Norte+%22UTN%22/@0.3581941,-78.1136969,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e2a3cad309ad309:0xc97eab5c0f6a095e!8m2!3d0.3581887!4d-78.1115082?hl=es](https://www.google.com.ec/maps/place/Universidad+Tecnica+del+Norte+%22UTN%22/@0.3581941,-78.1136969,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e2a3cad309ad309:0xc97eab5c0f6a095e!8m2!3d0.3581887!4d-78.1115082?hl=es)

- Granados, M. A. (2019). *Repositorio.unprg.edu.pe*. Obtenido de Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8006/BC-4388%20GRANADOS%20MORENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Graphenano. (Julio de 2017). *Graphenano.com*. Obtenido de "El grafeno: propiedades y aplicaciones": <https://www.graphenano.com/uploads/2017/11/Que-es-el-grafeno.pdf>
- Guerra, L. D. (Septiembre de 2013). *Repositorio.uchile.cl*. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115291/cf-guerra_lb.pdf?sequence=1
- Guevara, S. S., & Gil, J. F. (20 de Mayo de 2016). *Repositorio.utp.edu.co*. Obtenido de Diseño e implementación fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la Universidad Tecnológica de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7010/62131244S211d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrera, V. C. (28 de Octubre de 2011). *Repositorio.uta.edu.ec*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/438/1/Tesis_t646ec.pdf
- Hervas, J., & Moscoso, M. (30 de Noviembre de 2015). *Repositorio.utc.edu.ec*. Obtenido de Universidad Técnica de Cotopaxi: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2972/1/T-UTC-3515.pdf>
- INGENIUS. (19 de Junio de 2018). *ingenius.ups.edu.ec*. Obtenido de Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador: <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/19.2018.06/2145#:~:text=El%20costo%20de%20la%20energ%C3%ADa,no%20contemplan%20el%20banco%20de>
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Interconsulting Bureau S.L. (2016). *Aprovechamiento de Energías Renovables*. España: ICB.
- IRENA. (March de 2016). *IRENA.org*. Obtenido de Wind Power Technology Brief: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_Wind_Power_E07.pdf
- Jarauta, L. (2010). *Les energies renovables*. Barcelona: UOC.
- Lacoste, J., & Coligno, S. (2011). *Ing.unlp.edu.ar*. Obtenido de Universidad Nacional de la Plata: https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M1639/descargar.php?secc=0&id=M0639&id_inc=2915
- Llanes, E., & Salvador, A. (2017). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO: CASO DE ESTUDIO CASA DE CAMPO EN TULIPE – PICHINCHA, ECUADOR*. Obtenido de Universidad Internacional SEK: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2101>

- Loachamin, S. D. (26 de octubre de 2016). *http://repositorio.puce.edu.ec/*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/123456789/13017/TESIS%20SANTIA%20GO%20PITO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, R. (2021). (P. Huertas, Entrevistador)
- Molina, A. (24 de Enero de 2017). *Conexión Esan*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- Muñoz, J. A. (23 de 12 de 2011). *Bibing.us.es/*. Obtenido de Trabajos y proyectos fin de estudios E.T.S.I.: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5029/direccion/Proyecto+Fin+de+Carrera%252F>
- Muro, J. C.-D., Barrero, J. M., Macías, E. J., Parte, M. M., & Fernández, J. B. (22 de Enero de 2014). *Oepm.es*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE LA RIOJA: http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/40/41/ES-2404178_B1.pdf
- Ocampo, L. M. (22 de Julio de 2019). *Red.uao.edu.co*. Obtenido de Estudio de prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico de 1 MW para generación de energía eléctrica [Universidad Autónoma de Occidente]: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11284/T08672.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Pailacho, C. A. (Enero de 2019). *RepositorioUTN.edu.ec*. Obtenido de Universidad Técnica del Norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10108/2/04%20MEL%20077%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Perpiñan, O. (Noviembre de 2020). *OscarPerpinan.github.io*. Obtenido de Energía Solar Fotovoltaica: <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Politécnico Grancolombiano. (2007). *Futuro de la electricidad, hidrocarburos y energías alternativas*. Politécnico Grancolombiano.
- Quezada, R. P., & Viteri, B. E. (Julio de 2008). *Repositorio.espe.edu.ec*. Obtenido de Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4362/1/M-ESPEL-0007.pdf>
- Rankia. (2021). *Rankia*. Obtenido de [https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo-ejemplos#f%C3%B3rmula-de-la-tir-\(van-o-valor-actual-neto-igualado-a-0\)](https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo-ejemplos#f%C3%B3rmula-de-la-tir-(van-o-valor-actual-neto-igualado-a-0))
- Ranz, J. A. (2014). *Zaguan.unizar.es*. Obtenido de Transporte de energía eléctrica en corriente continua. Estudio técnico económico de la tecnología HVDC. Universidad Zaragoza: <https://zaguan.unizar.es/record/15893/files/TAZ-PFC-2014-357.pdf>
- REDVET. (Septiembre de 2016). *Redalyc.org*. Obtenido de Revista Electrónica de Veterinaria: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63647456002.pdf>
- Rojas, L. J. (2018). *Repositorio.unsa.edu.pe*. Obtenido de Determinación de los efectos electrodinámicos en barras de subestación de alta tensión aus en 138 KV. Universidad Nacional San Agustín : <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6289/ELMverolj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ross, M. M., Turcotte, D., Roussin, S., & Fry, M.-A. (January de 2004). *Researchgate.net*. Obtenido de Comparison of AC, DC, and AC/DC bus configurations for PV hybrid systems:
https://www.researchgate.net/publication/254003304_COMPARISON_OF_AC_DC_AND_ACDC_BUS_CONFIGURATIONS_FOR_PV_HYBRID_SYSTEMS/link/55ca267c08aea2d9bdcbf927/download
- Ruiz, P. L. (Septiembre de 2015). *Deeea.urv.cat*. Obtenido de Escuela Técnica Superior Ingeniería: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2317pub.pdf>
- Rújula, Á. A. (2009). *Energías renovables Sistemas fotovoltaicos*. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Saavedra, F. E. (Septiembre de 2016). *Repositorio.usm.cl*. Obtenido de Universidad Técnica Federico Santa María:
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23343/3560900257155UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sales, I. I. (Septiembre de 2019). *Riunet.upv.es*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/130602/lb%C3%A1%C3%B1ez%20-%20Estudio%20de%20acumuladores%20de%20energ%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, J. D. (Septiembre de 2014). *E-archivo.uc3m.es*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26418/TFG_Jorge_Descalzo_Sanchez_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sauma, A. P. (10 de Agosto de 2015). *Ponteficia Universidad Católica de Chile Políticaspublicas UC*. Obtenido de <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2015/09/N%C2%B0-81-Los-desaf%C3%ADos-de-la-utilizaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADas-renovables-no-convencionales-intermitentes.pdf>
- SDMO. (s.f). *Sdmo-rentalpower.com*. Obtenido de Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos . Sdmo: http://www.sdmo-rentalpower.com/commonsDocuments/300/33516003501_0_1.pdf
- Sopeña, A. (2019). *DISEÑO INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA DE 10 MWP EN CUERVA (TOLEDO)*. Obtenido de Universidad del País Vasco:
http://lareferencia.info/vufind/Record/ES_1308d25557d1e00e6b9b2c6e5db8951e
- Tituaña, A. S. (2016). *Diposit*. Obtenido de http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/101966/1/TFM_MERSE_Alberto%20Santill%C3%A1n.pdf
- Valle, J. X., & Briones, A. G. (1 de Marzo de 2017). *repositorio.ucsg.edu.ec*. Obtenido de Diseño y construcción de un aerogenerador de eje vertical para un sistema de iluminación de emergencia con luces LED. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7739/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-94.pdf>
- Varela, A., & Ron, S. (2018). *Geografía y Clima del Ecuador*. Obtenido de Universidad Católica del Ecuador: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>
- Velasco, J. G. (2012). *Energías renovables*. Reverté.

ANEXOS

A. Especificaciones panel fotovoltaico

Módulo fotovoltaico	GSM660w	GSM670w	GSM680w	GSM685w
Potencia máxima nominal (Pmax) [W]	660	670	680	685
Voltaje de circuito abierto [Voc] [V]	14.44	14.44	14.44	14.44
Voltaje a potencia máxima [Vmp] [V]	12	12	12	12
Corriente de cortocircuito (Isc) [A]	10.21	10.38	10.56	11.35
Corriente de potencia máxima [A]	9.55	9.71	9.87	10.61
Tolerancia de potencia	0 - + 5 W			
Coefficiente de temperatura de Isc (α_{Isc})	+ 0.048% / °C			
Coefficiente de temperatura Voc (β_{Voc})	-0.270% / °C			
Coefficiente de temperatura Pmax (γ_{Pmp})	-0.350% / °C			
STC	Irradiancia 800w/m ² , temperatura ambiente 20° C			
Tamaño	2400*1303*35 mm			
Peso	26 kg			

B. Cálculo de número de paneles fotovoltaicos

Para realizar el cálculo del número de paneles fotovoltaicos se utilizó la información de la Tabla 4 y la Ec. (2)

$$n_p = \frac{P_i}{P_p n_h}$$

$$n_{p1} = \frac{2240 \text{ kW}}{685 \text{ W} * 12} = 273 \text{ Se aproxima al inmediato superior divisible para 4} = 276$$

$$n_{p2} = \frac{1600 \text{ kW}}{685 \text{ W} * 12} = 195 \text{ Se aproxima al inmediato superior divisible para 4} = 196$$

$$n_{p3} = \frac{960 \text{ kW}}{685 \text{ W} * 12} = 117 \text{ Se aproxima al inmediato superior divisible para 4} = 120$$

Se aproximó al inmediato superior divisible para 4 para no tener complicaciones al momento de conectar los paneles fotovoltaicos ya que, deben estar 4 en serie y luego en paralelo para que su voltaje nominal sea el de la planta fotovoltaica, 48 V.

Se calculó el número de ramas en paralelo realizando la división para 4 de la siguiente manera:

$$Nrp1 = \frac{276}{4} = 69$$

$$Nrp2 = \frac{196}{4} = 49$$

$$Nrp3 = \frac{120}{4} = 30$$

C. Especificaciones batería

Modelo	XC-SP-001 (200 Ah)	Tipo	
Uso	UPS, Bicicleta eléctrica, Almacenamiento energía solar	Voltaje nominal	48 V
Descarga Rate	Bajo ritmo de descarga	Forma	Batería cuadrada
Instalación	Fijo	Recargable	Si

D. Cálculo de dimensionamiento de acumulador de carga

El dimensionamiento del sistema de batería está calculado de la siguiente forma:

Rendimiento de las baterías mediante Ec. (3)

$$\eta_B = 100\% - k_b$$

$$\eta_B = 100\% - 5\%$$

$$\eta_B = 95\%$$

Capacidad de acumulación de la batería mediante Ec. (4)

$$Q_{Ah} = \frac{E_t D_a}{V_{BAT} \eta_B}$$

$$Q_{Ah1} = \frac{2240 * 1}{48 V * 0.95} \quad Q_{Ah1} = \frac{2240 kW}{45.6 V} \quad Q_{Ah1} = 49.12 kAh$$

$$Q_{Ah2} = \frac{1600 * 1}{48 V * 0.95} \quad Q_{Ah2} = \frac{1600 kW}{45.6 V} \quad Q_{Ah2} = 35.08 kAh$$

$$Q_{Ah3} = \frac{960 * 1}{48 V * 0.95} \quad Q_{Ah3} = \frac{960 kW}{45.6 V} \quad Q_{Ah3} = 21.05 kAh$$

La capacidad del acumulador se calculó para los tres escenarios presentados, es decir con el 70%, 50% y 30% de la potencia nominal respectivamente.

Con los valores obtenidos se calculó el número de baterías necesarias con una división.

$$\frac{49.12 kAh}{200 Ah} = 246$$

$$\frac{35.08 kAh}{200 Ah} = 176$$

$$\frac{21.05 kAh}{200 Ah} = 106$$

E. Cálculo de dimensionamiento de regulador de carga

Para el dimensionamiento del regulador según la Ec. (5), se requiere del número ramas de paneles solares y la corriente de cortocircuito de cada panel, de tal forma que:

$$I_R = I_{SC} * N_{rp} * 1.25[A]$$

$$I_R = 19.01 * N_{rp} * 1.25$$

$$I_{R1} = 11.35 * 69 * 1.25 = 978 \text{ A}$$

$$I_{R2} = 11.35 * 49 * 1.25 = 695 \text{ A}$$

$$I_{R2} = 11.35 * 30 * 1.25 = 425 \text{ A}$$

F. Especificaciones inversor

Convertidor de frecuencia de gran potencia inversor de 500kw, marca XPD



Inyección	monofásica
Voltaje de entrada nominal (DC)	48 V
Voltaje de entrada máxima (DC)	96 V
Corriente de entrada máxima (DC)	1000 A

Voltaje de salida (AC)	120 V
Potencia nominal de salida (AC)	500 kW

G. Cálculo de conductores

Cálculo de corriente de los paneles fotovoltaicos para cada escenario

$$I = n_p * I_p$$

Se utiliza el número de paneles en cada rama

$$I_1 = 69 * 10.61 = 732 \text{ A}$$

$$I_2 = 49 * 10.61 = 520 \text{ A}$$

$$I_3 = 30 * 10.61 = 318 \text{ A}$$

Cálculo de conductores para escenario de funcionamiento 1

Tramos	Distancia [m]	Corriente [A]	$\Delta V\%$	ΔV	Sección [mm ²] $S = \frac{(2P_e L I)}{\Delta V} \text{ mm}^2$	Sección comercial en AWG
Paneles-regulador	5	732	3%	3%*48 V = 1.44 V	$\frac{(2 * 0.017 * 5 * 732)}{1.44 \text{ V}}$ S = 86 mm ²	4/0
Regulador-baterías	1.5	978	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 978)}{0.48 \text{ V}}$ S = 104 mm ²	4/0
Regulador-barra DC	1.5	978	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 978)}{0.48 \text{ V}}$ S = 104 mm ²	4/0

Barra DC- Inversor	1.5	978	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 2 * 978)}{0.48 V}$ $S = 104 \text{ mm}^2$	4/0
Inversor- Barra AC	5	166.67	2%	2%*12 0 V = 2.4 V	$\frac{(2 * 0.017 * 5 * 166.67)}{2.4 V}$ $S = 11.80 \text{ mm}^2$	6
Grupo electrógeno -Barra AC	10	166.67	3%	3%*12 0 V = 3.6 V	$\frac{(2 * 0.017 * 10 * 166.67)}{3.6 V}$ $S = 8 \text{ mm}^2$	8

Cálculo de conductores para escenario de funcionamiento 2

Tramos	Distancia [m]	Corriente [A]	$\Delta V\%$	ΔV	Sección [mm ²] $S = \frac{(2P_e L I)}{\Delta V} \text{ mm}^2$	Sección comercial en AWG
Paneles-regulador	5	520	3%	3%*48 V = 1.44 V	$\frac{(2 * 0.017 * 5 * 520)}{1.44 V}$ $S = 62 \text{ mm}^2$	2/0
Regulador-baterías-barra DC	1.5	695	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 695)}{0.48 V}$ $S = 74 \text{ mm}^2$	3/0
Regulador-barra DC	1.5	695	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 695)}{0.48 V}$ $S = 74 \text{ mm}^2$	3/0

Barra DC- Inversor	1.5	695	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 695)}{0.48 V}$ S = 74 mm ²	3/0
Inversor- Barra AC	5	166.67	2%	2%*12 0 V = 2.4 V	$\frac{(2 * 0.017 * 5 * 166.67)}{2.4 V}$ S = 11.80 mm ²	6
Grupo electrógeno -Barra AC	10	166.67	3%	3%*12 0 V = 3.6 V	$\frac{(2 * 0.017 * 10 * 166.67)}{3.6 V}$ S = 8 mm ²	8

Cálculo de conductores para escenario de funcionamiento 3

Tramos	Distancia [m]	Corriente [A]	$\Delta V\%$	ΔV	Cálculo de sección $S = \frac{(2P_e L I)}{\Delta V} \text{ mm}^2$	Sección comercial en AWG
Paneles-regulador	5	318	3%	3%*48 V = 1.44 V	$\frac{(2 * 0.017 * 5 * 318)}{1.44 V}$ S = 38 mm ²	1
Regulador-baterías-barra DC	1.5	425	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 425)}{0.48 V}$ S = 46 mm ²	1/0
Regulador-barra DC	1.5	425	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 425)}{0.48 V}$ S = 46 mm ²	1/0

Barra DC- Inversor	1.5	425	1%	1%*48 V = 0.48 V	$\frac{(2 * 0.017 * 1.5 * 425)}{0.48 V}$ $S = 46 \text{ mm}^2$	1/0
Inversor- Barra AC	5	166.67	2%	2%*12 0 V = 2.4 V	$\frac{(2 * 0.017 * 5 * 166.67)}{2.4 V}$ $S = 11.80 \text{ mm}^2$	6
Grupo electrógeno -Barra AC	10	166.67	3%	3%*12 0 V = 3.6 V	$\frac{(2 * 0.017 * 10 * 166.67)}{3.6 V}$ $S = 8 \text{ mm}^2$	8

Los cálculos de los conductores realizados solo toman en cuenta caída de voltaje, sin embargo, la mayoría no cumple con su capacidad de intensidad, por tanto, en los circuitos DC se decidió aumentar el número de conductores considerando los mismos calculados por caída de voltaje. En los circuitos AC se consideró un conductor que cumpla con la intensidad. Por tanto, los conductores finales son:

Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
Tramos	Calibre en AWG	Tramos	Calibre en AWG	Tramos	Calibre en AWG
Paneles-regulador	4x4/0	Paneles-regulador	4x2/0	Paneles-regulador	3x1
Regulador-baterías	5x4/0	Regulador-baterías	5x3/0	Regulador-baterías	4x1/0
Regulador-barra DC	5x4/0	Regulador-barra DC	5x3/0	Regulador-barra DC	4x1/0

Barra DC- Inversor	5x4/0	Barra DC- Inversor	5x3/0	Barra DC- Inversor	4x1/0
Inversor- Barra AC	3/0	Inversor- Barra AC	3/0	Inversor- Barra AC	3/0
Grupo electrógeno- Barra AC	3/0	Grupo electrógeno- Barra AC	3/0	Grupo electrógeno- Barra AC	3/0

H. Cálculo de protecciones

Protecciones en corriente continua

$$I_{\max} = I_{sc} \cdot 1.25$$

$$I_{\max1} = (10.61 \cdot 69) \cdot 1.25 = 915 \text{ A}$$

$$I_{\max2} = (10.61 \cdot 49) \cdot 1.25 = 650 \text{ A}$$

$$I_{\max3} = (10.61 \cdot 30) \cdot 1.25 = 398 \text{ A}$$

Protecciones en corriente alterna.

La corriente se divide para 20 debido a la conexión en serie y paralelo en los paneles fotovoltaicos.

$$I_{\max} = \frac{400 \text{ kW}}{120 \cdot 20}$$

$$I_{\max} = 166.67 \text{ A}$$

I. Cálculo de consumo de combustible del grupo electrógeno a diferentes potencias

-Datos

$f_p=0.92$

Potencia del sistema de alumbrado = 400 kW

Consumo del grupo electrógeno a potencia nominal 91 l/h

-Primero se transformó los 400 kW a kVA

$$400 \text{ kW} \rightarrow \text{kVA} = \frac{400}{0.92} = 434.78$$

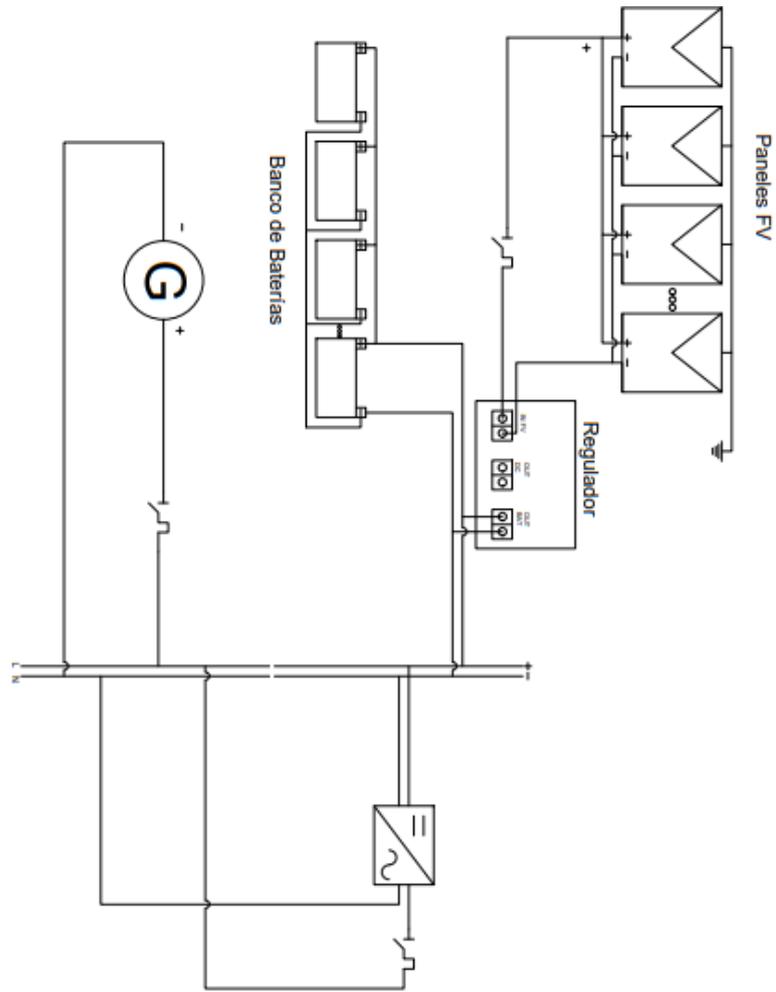
-Cálculo del consumo de combustible

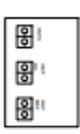
450 kVA = 91 l/h

$$\frac{434 * 91}{450} = 87.92 \text{ l/h}$$

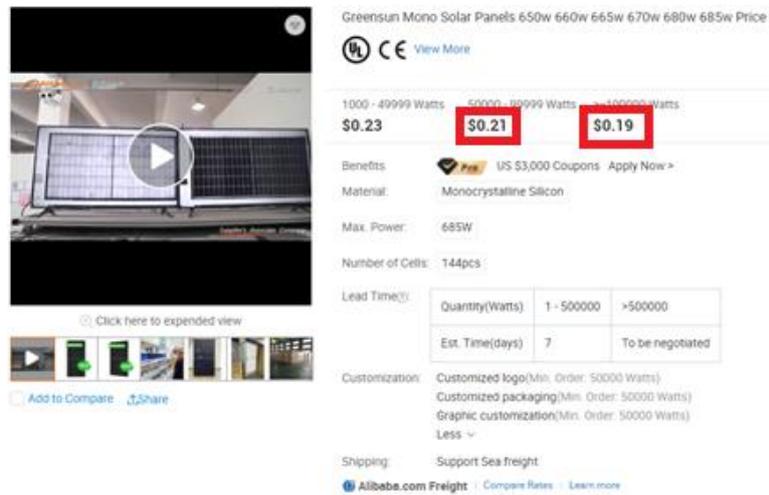
$$\frac{434 * 91}{2 * 450} = 43.96 \text{ l/h}$$

J. Diseño del sistema de generación híbrido FV-grupo electrógeno



	PANEL SOLAR
	REGULADOR DE CARGA
	BATERIA
	INVERSOR
	GENERADOR
	DISYUNTOR - INTERUPUTOR UNIPOLAR
	BARRAS DC
	BARRAS AC
	TIERRA

K. Cotizaciones



Greensun Mono Solar Panels 650w 660w 665w 670w 680w 685w Price

UL CE View More

1000 - 49999 Watts: \$0.23
 50000 - 99999 Watts: \$0.21
 100000+ Watts: \$0.19

Benefits: US \$3,000 Coupons Apply Now >

Material: Monocrystalline Silicon

Max. Power: 685W

Number of Cells: 144pcs

Lead Time:

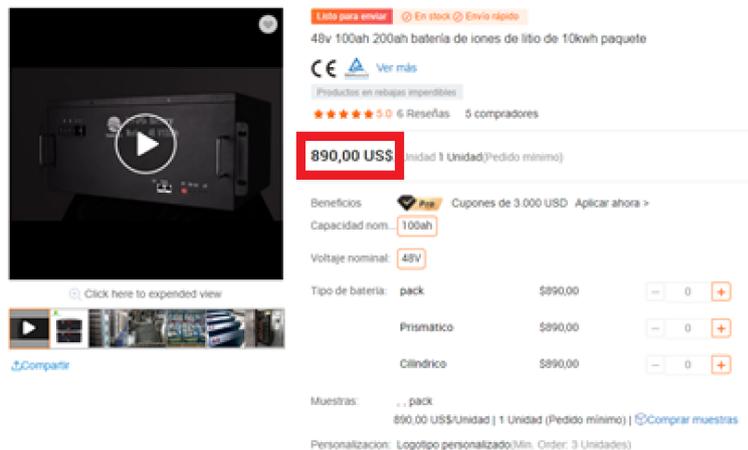
Quantity(Watts)	1 - 50000	>50000
Est. Time(days)	7	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 50000 Watts)
 Customized packaging(Min. Order: 50000 Watts)
 Graphic customization(Min. Order: 50000 Watts)
 Less >

Shipping: Support Sea freight

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

Precio cotización de panel solar 685W, para escenario 1 y 2 se calcula $0.19 \times 685 = 130.15$ USD. Para el escenario tres debido a la cantidad se calcula $0.21 \times 685 = 143.85$ USD



Lista para enviar En stock Envío rápido

48v 100ah 200ah batería de iones de litio de 10kwh paquete

CE Ver más

Productos en rebajas imperdibles

★★★★★ 5.0 6 Reseñas 5 compradores

890,00 US\$ Unidad 1 Unidad (Pedido mínimo)

Beneficios: Cupones de 3.000 USD Aplicar ahora >

Capacidad nom.: 100ah

Voltaje nominal: 48V

Tipo de batería: pack \$890,00 - 0 +

Prismático \$890,00 - 0 +

Cilíndrico \$890,00 - 0 +

Muestras: .. pack
 890.00 US\$/Unidad | 1 Unidad (Pedido mínimo) | Comprar muestras

Personalización: Logotipo personalizado(Min. Order: 3 Unidades)

El PACK de baterías 200 Ah a 48 V es de 890.

Controlador de carga Solar Mppt, equipo de control de 12v/24v/48v/96v, 60a 80a 120a Mppt disponible
1 comprador

1 - 10 Unidades	11 - 49 Unidades	50 - 999 Unidades	>=1000 Unidades
139,00 US\$	133,00 US\$	127,00 US\$	119,00 US\$

Beneficios: Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)

Voltaje nominal: 12V 12V 24V 36V 36V 48V

Corriente Máxi... 80A

Muestras: 36V 36V , 80A
135,00 US\$/Unidad | 1 Unidad (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time(🕒):

Cantidad(Unidades)	1 - 10	>10
Hora del Est.(días)	5	Se negociará

Personalización: Logotipo personalizado(Min. Order: 50 Unidades)
Embalaje personalizado(Min. Order: 100 Unidades)
More >

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protección: Garantía comercial protege tu pedido de Alibaba.com

El regulador debido a que para ninguno de los tres escenarios se planteó comprar más de 10 unidades, el precio es de 139 USD

Convertidor de frecuencia de gran potencia inversor de 500kw
FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

1 - 10 Unidades	11 - 50 Unidades	>50 Unidades
1,999,00 US\$	5,999,00 US\$/Unidad	5,999,00 US\$

Potencia de sal... 0,75-1000kw

Lead Time(🕒):

Cantidad(Unidades)	1 - 10	11 - 50	>50
Hora del Est.(días)	3	7	Se negociará

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protección: Garantía comercial protege tu pedido de Alibaba.com
 Política de reembolso

El precio del inversor, debido al pedido de solo una unidad es de 5999.00 USD

Productos en rebajas imperdibles

★★★★★ 3.7 3 Reseñas 57 compradores

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

100 - 299 Kilogram...	300 - 499 kilogram...	500 - 999 Kilogram...	>=1000 Kilogramos
1,80 US\$	1,60 US\$	1,40 US\$	1,00 US\$

Beneficios: Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)

Muestras: 1,00 US\$/Kilogramo | 1 Kilogramo (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time(🕒):

Cantidad(Kilogramos)	1 - 10000	>10000
Hora del Est.(días)	3	Se negociará

Personalización: Logotipo personalizado(Min. Order: 1 Kilogramos)
Embalaje personalizado(Min. Order: 1 Kilogramos)
More >

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protección: Garantía comercial protege tu pedido de Alibaba.com
 Garantía de envío a tiempo Política de reembolso

El envío por mar, debido al peso se cotizó en 1.00 USD por kilogramo.

L. Cálculo de transporte e impuestos

Producto	Peso unidad	Peso Total	Costo
Escenario 1			
273 Paneles FV	20 kg	5460 kg	5460
246 Baterías	50 kg	12300 kg	12300
1 Inversor	300 kg	300 kg	300
9 Reguladores	15	135 kg	135
		Total=	18195
Escenario 2			
195 Paneles FV	20 kg	3900 kg	3900
176 Baterías	50 kg	8800 kg	8800
1 Inversor	300 kg	300 kg	300
6 Reguladores	15 kg	90 kg	
		Total=	13090
Escenario 3			
117 Paneles	20 kg	2340 kg	2340
106 Baterías	50 kg	5300 kg	5300
1 Inversor	300 kg	300 kg	300

4 Reguladores	15 Kg	300 kg	300
		Total=	8000

M. Costos de sustitución

Los costos de sustitución se calcularon en función de los años de vida útil señalados en la ficha técnica de cada elemento y la cantidad de veces que se reemplazarían en un periodo de tiempo específico.

Cantidad	Equipo	Tiempo de vida útil [años]	Número de sustituciones	Costo total [USD]
Escenario 1				
246	Paneles fotovoltaicos	25	0	0
9	Regulador	15	1	1251
1	Inversor	15	1	6000
246	Baterías	13	1	218940
			Total=	226191
Escenario 2				
195	Paneles fotovoltaicos	25	0	0
6	Regulador	15	1	834
1	Inversor	15	1	6000

176	Baterías	13	1	156640
			Total=	163474
Escenario 3				
117	Paneles fotovoltaicos	25	0	0
4	Regulador	15	1	556
1	Inversor	15	1	6000
106	Baterías	13	1	94340
			Total=	100896

Se realizó el análisis de los costos de sustitución para cada uno de los escenarios. Para el reemplazo de los equipos se consideró el mismo precio inicial de los equipos.

Generación de energía anual

Para el cálculo de la generación de la energía anual se utilizaron los datos de la Tabla 2 Energía diaria por suministrar en los distintos escenarios planteados

Generación kW/día	Generación kW/año
Escenario 1	
2240	817600
Escenario 2	

1600	584000
Escenario 3	
960	350400

Generación kWh	Generación kWh anual
Escenario 1	
186.67	68133.33
Escenario 2	
133.33	48666.67
Escenario 3	
80	29200

N. Cálculo de indicadores financieros, flujo de caja, VAN, TIR

Escenario 1

Indicadores Escenario 1						
Tasa de descuento 7%						
Tasa de degradación 5%						
Años	Egresos	Actualizado	Generación kWh anual	Actualizado	Años	Flujograma Escenario 1
1	281137.07	262744.93	68133.33	63676.01	1	-238208.95
2	\$ -	\$ -	67451.98	58915.17	2	24290.61

3	\$ -	\$ -	66777.43	54510.28	3	24047.70
4	\$ -	\$ -	66109.64	50434.72	4	23807.21
5	\$ -	\$ -	65448.52	46663.89	5	23569.13
6	\$ -	\$ -	64794.01	43174.98	6	23333.43
7	\$ -	\$ -	64146.04	39946.93	7	23100.09
8	\$ -	\$ -	63504.56	36960.23	8	22869.08
9	\$ -	\$ -	62869.49	34196.84	9	22640.38
10	\$ -	\$ -	62240.78	31640.05	10	22413.97
11	\$ -	\$ -	61618.35	29274.43	11	22189.82
12	\$ -	\$ -	61002.14	27085.68	12	21967.91
13	\$ -	\$ -	60392.10	25060.57	13	-72113.00
14	\$ -	\$ -	59788.16	23186.88	14	21530.74
15	\$ -	\$ -	59190.26	21453.27	15	21315.42
16	\$ -	\$ -	58598.33	19849.28	16	21102.26
17	\$ -	\$ -	58012.33	18365.22	17	20891.23
18	\$ -	\$ -	57432.18	16992.11	18	20682.31
19	\$ -	\$ -	56857.84	15721.67	19	20475.48
20	\$ -	\$ -	56289.24	14546.21	20	20270.72
21	\$ -	\$ -	55726.33	13458.64	21	20068.00
22	\$ -	\$ -	55169.05	12452.38	22	19867.32
23	\$ -	\$ -	54617.34	11521.36	23	19668.64
24	\$ -	\$ -	54071.15	10659.94	24	19471.94
25	\$ -	\$ -	53530.42	9862.94	25	19277.22
		262744.93		729609.69	VAN =	188528.67
Costo nivelado de energía USD/kWh (LCOE)=				0.36	TIR =	6%

Escenario 2

Indicadores Escenario 2						
Tasa de descuento 7%						
Tasa de degradación 5%						
Años	Egresos	Actualizado	Generación kWh anual	Actualizado	Años	Flujograma Escenario 2
1	203063.33	189778.81	48666.67	45482.87	1	-172056.65
2	\$ -	\$ -	48179.98	42082.26	2	17544.94
3	\$ -	\$ -	47698.17	38935.91	3	17369.48
4	\$ -	\$ -	47221.17	36024.80	4	17195.78
5	\$ -	\$ -	46748.94	33331.35	5	17023.82
6	\$ -	\$ -	46281.43	30839.27	6	16853.57
7	\$ -	\$ -	45818.60	28533.52	7	16685.03
8	\$ -	\$ -	45360.40	26400.17	8	16518.17
9	\$ -	\$ -	44906.78	24426.31	9	16352.99
10	\$ -	\$ -	44457.70	22600.04	10	16189.45
11	\$ -	\$ -	44013.11	20910.31	11	16027.55
12	\$ -	\$ -	43572.96	19346.91	12	15867.27
13	\$ -	\$ -	43137.21	17900.41	13	-52127.31
14	\$ -	\$ -	42705.83	16562.06	14	15551.50
15	\$ -	\$ -	42278.75	15323.77	15	15395.98
16	\$ -	\$ -	41855.95	14178.06	16	15242.01
17	\$ -	\$ -	41437.38	13118.01	17	15089.59
18	\$ -	\$ -	41022.99	12137.22	18	14938.69
19	\$ -	\$ -	40612.74	11229.76	19	14789.30
20	\$ -	\$ -	40206.60	10390.15	20	14641.40
21	\$ -	\$ -	39804.52	9613.31	21	14494.98
22	\$ -	\$ -	39406.46	8894.56	22	14350.02
23	\$ -	\$ -	39012.39	8229.54	23	14206.52

24	\$ -	\$ -	38622.25	7614.25	24	14064.45
25	\$ -	\$ -	38236.01	7044.95	25	13923.80
		189778.81		521149.78	VAN =	136132.34
Costo nivelado de energía USD/kWh (LCOE)=				0.36	TIR =	6%

Escenario 3

Indicadores Escenario 3							
Tasa de descuento 7%							
Tasa de degradación 5%							
Años	Egresos	Actualizado	Generación kWh anual	Actualizado	Años	Flujograma Escenario 3	VAN
1	126763.17	118470.25	29200	27289.72	1	-107407.11	-100380.48
2	\$ -	\$ -	28907.99	25249.36	2	10952.50	10235.98
3	\$ -	\$ -	28618.90	23361.55	3	10842.97	10133.62
4	\$ -	\$ -	28332.70	21614.88	4	10734.54	10032.28
5	\$ -	\$ -	28049.36	19998.81	5	10627.19	9931.95
6	\$ -	\$ -	27768.86	18503.56	6	10520.92	9832.63
7	\$ -	\$ -	27491.16	17120.11	7	10415.70	9734.30
8	\$ -	\$ -	27216.24	15840.10	8	10311.54	9636.96
9	\$ -	\$ -	26944.07	14655.79	9	10208.42	9540.58
10	\$ -	\$ -	26674.62	13560.02	10	10106.34	9445.17
11	\$ -	\$ -	26407.86	12546.19	11	10005.27	9350.72
12	\$ -	\$ -	26143.78	11608.15	12	9905.21	9257.21
13	\$ -	\$ -	25882.33	10740.25	13	-32062.10	-29964.58
14	\$ -	\$ -	25623.50	9937.23	14	9708.09	9072.98
15	\$ -	\$ -	25367.25	9194.26	15	9611.01	8982.25
16	\$ -	\$ -	25113.57	8506.84	16	9514.89	8892.42
17	\$ -	\$ -	24862.43	7870.81	17	9419.74	8803.50

18	\$ -	\$ -	24613.79	7282.33	18	9325.54	8715.46
19	\$ -	\$ -	24367.65	6737.86	19	9232.28	8628.30
20	\$ -	\$ -	24123.96	6234.09	20	9139.96	8542.02
21	\$ -	\$ -	23882.71	5767.99	21	9048.55	8456.59
22	\$ -	\$ -	23643.88	5336.73	22	8958.07	8372.02
23	\$ -	\$ -	23407.43	4937.72	23	8868.48	8288.30
24	\$ -	\$ -	23173.35	4568.55	24	8779.79	8205.41
25	\$ -	\$ -	22941.61	4226.97	25	8691.99	8123.36
		118470.25		312689.87		VAN =	85459.81
Costo nivelado de energía USD/kWh (LCOE)=				0.38		TIR =	6%

O. Cálculo de tiempo de recuperación de la inversión para cada escenario

Para el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión se utilizó la ecuación "PIR"

$$PIR = a + (a/b)$$

A=Periodo del último flujo negativo

B= Valor absoluto del último flujo negativo

C= valor del flujo siguiente

$$PIR1 = 11 + \left(\frac{abs(-5947.54)}{16020.38} \right) = 11.37$$

$$PIR2 = 11 + \left(\frac{abs(-4295.87)}{11571.40} \right) = 11.37$$

$$PIR3 = 11 + \left(\frac{abs(-2681.71)}{7223.50} \right) = 11.37$$

$$11 * 0.37 = 4.07$$

$$30 * 0.07 = 2.1$$

11 años, 4 meses y 2 días

P. Cálculo emanaciones de emanaciones de CO₂ para cada escenario

Consumo de combustible del grupo electrógeno	
Potencia aparente en kVA	Consumo de combustible en l/h
450	91
434.78	87.92
217.39	43.96

Con la información de la Tabla 7 y el consumo energético diario, se calculó el consumo de combustible por día y por año para después calcular la emanación de CO₂ al ambiente. Consumo de energía 3200 kW/d.

- Escenario 1

Combustible diario 3200 kW/d * 0.3 = 960 kW

Convertido a kVA con un factor de potencia de 0.92 es igual a 1043.47 kVA/día lo que implica que al año el consumo sería de 380866 kVA/año, con una regla de tres se calcula el consumo de combustible

$$\text{Combustible1} = \frac{380866 * 91}{450} = 77019.56 \text{ l/año}$$

Cada litro de Diesel quemado produce 2600 gr de CO₂ por tanto al año se producirían 200249.4 kg de CO₂ emitidos al ambiente es decir 200.2 tCO₂/año

- Escenario 2

Combustible diario 3200 kW/d * 0.5 = 1600 kW

Convertido a kVA con un factor de potencia de 0.92 es igual a 1739.13 kVA/día lo que implica que al año el consumo sería de 634782 kVA/año, con una regla de tres se calcula el consumo de combustible

$$\text{Combustible2} = \frac{634782 * 91}{450} = 128367.03 \text{ l/año}$$

Cada litro de Diesel quemado produce 2600 gr de CO₂ por tanto al año se producirían 333754.2 kg de CO₂ emitidos al ambiente es decir 333.7 tCO₂/año

- Escenario 3

Combustible diario 3200 kW/d * 0.3 = 960 kW

Convertido a kVA con un factor de potencia de 0.92 es igual a 2434.78 kVA/día lo que implica que al año el consumo sería de 888694 kVA/año, con una regla de tres se calcula el consumo de combustible

$$\text{Combustible3} = \frac{888694 * 91}{450} = 179713.67 \text{ l/año}$$

Cada litro de Diesel quemado produce 2600 gr de CO₂ por tanto al año se producirían 467253.8 kg de CO₂ emitidos al ambiente es decir 467.2 tCO₂/año