



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANÁLISIS DEL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA
ELÉCTRICA EN UN CENTRO DE CÓMPUTO POR MEDIO DE
UN SISTEMA DE RESPALDO UTILIZANDO LA RED
ELÉCTRICA PÚBLICA Y PANELES FOTOVOLTAICOS”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

LICENCIADO EN REDES Y SISTEMAS OPERATIVOS

Presentado por:

HOLGER JAEL PARRALES VELÁSQUEZ

CHRISTIAN OSWALDO SÁNCHEZ CUENCA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018 – 2019

AGRADECIMIENTOS

Al creador del universo, Padre de nuestro Señor Jesucristo. Al Hijo de Dios, quien dio su vida a cambio de la nuestra, para salvarnos y librarnos de mal y de la perdición. A Dios todo poderoso, quien nos permitió culminar esta tan importante etapa de la vida.

A la familia y los amigos, que brindaron su apoyo y confianza, haciéndonos sentir autosuficientes, competitivos y seguros de nosotros mismos, confirmando lo que somos por naturaleza, seres humanos capaces de afrontar y salir victoriosos ante cualquier situación.

A todos aquellos que formaron parte de esta travesía, a los compañeros de carrera, profesores, y autoridades académicas de nuestra amada universidad.

Holger Jael Parrales Velásquez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, Nuestro Padre Celestial, por la fortaleza y ayuda recibida para llegar hasta donde me encuentro ahora, por la guía y entendimiento que he recibido para culminar esta etapa de mi vida y continuar con mi progreso personal. Agradezco a mis queridos padres por apoyarme y respaldarme en todo momento, por motivarme a continuar y no bajar los brazos. A mis hermanos que han sido un apoyo en momentos que más necesitaba y ser un ejemplo para mí. Agradezco a mis profesores de la universidad por compartir sus conocimientos y experiencias, por sus consejos y ayuda recibida durante este tiempo de aprendizaje. Y a mis amigos, colegas y compañeros que me han ayudado a lo largo de este camino les doy las gracias, son parte de este logro.

Christian Oswaldo Sánchez Cuenca

DEDICATORIA

Al que con su gran amor nos sostiene día a día, a quien con su infinita misericordia nos da la inteligencia y la sabiduría que necesitamos para continuar en lucha dentro de este mundo. A Dios, quien nos da fuerzas para avanzar en los momentos difíciles, cuando ya no podemos más, cuando el día se vuelve noche, y aun cuando la esperanza se cree perdida.

A la familia en general, a ellos que con su apoyo incondicional y sabios consejos nos enseñan que somos capaces de cumplir las metas que nos proponemos y seguimos con perseverancia y constancia.

A los amigos, quienes con su fidelidad y lealtad nos demuestran que la amistad vale más que cualquier discrepancia, y que a pesar de cualquier motivo nunca dejaron de creer y confiar en nuestra autenticidad y en nuestro valor como seres humanos, con virtudes y defectos pero humanos, a fin de cuentas.

A los seres queridos que se adelantaron a ese viaje que se emprende para no regresar, a ellos que no están físicamente, pero están siempre presente en cada paso que damos.

Gracias a todos.

Holger Jael Parrales Velásquez

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios, por ser Él la fuente de inspiración y fortaleza para llegar a la meta. Por brindarme vida y salud para cumplir con el objetivo trazado. En segundo lugar, a mi familia, a mis padres por el sacrificio que han hecho por mí, por sus consejos, por brindarme su apoyo y palabras de motivación para seguir adelante y no desmayar. También se lo dedico a mis hermanos que aportaron en este logro personal. Y Por último a todos mis amigos, profesores y compañeros que han estado conmigo durante este camino o de alguna manera aportaron en la culminación de esta etapa de mi vida.

Christian Oswaldo Sánchez Cuenca

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ing. Ronald Criollo Bonilla

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Rayner Durango Espinoza

PROFESOR TUTOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Holger Jael Parrales Velásquez

Christian Oswaldo Sánchez Cuenca

RESUMEN

En el presente documento se expone el análisis realizado sobre el uso eficiente de la energía eléctrica, proyecto que contó con la participación del centro de cómputo de la FIEC. Con el propósito de demostrar la importancia y los beneficios de la utilización de tecnología solar fotovoltaica como fuente para generar electricidad, y reducir los gastos por consumo eléctrico, garantizando la sostenibilidad ambiental, y convirtiendo a un centro de cómputo más eficiente. Se hizo uso de la herramienta Design Thinking, método con el cual se llevó a cabo la ejecución de las principales tareas inherentes a este proyecto. También se mencionan los materiales, equipos y técnicas de medición de eficiencia energética utilizados para comprobar la hipótesis general del mismo, la cual se simplifica a cambiar la manera de abastecerlo eléctricamente y proponer una alternativa a los sistemas de respaldo de energía convencionales. Cabe destacar que los resultados obtenidos revelan cómo se puede tener una mayor eficiencia energética, gracias a la participación de la energía solar. El nivel de PUE logrado fue de 2.27, lo cual conlleva a tener un centro de cómputo con una eficiencia energética aceptable. Se prevé que contar con un SFV para el suministro eléctrico de este establecimiento permitiría un ahorro significativo por gastos eléctricos, cerca de \$30,890.00, después de recuperar la inversión. Con ello se concluye que la solución planteada en este artículo de tesis, puede satisfacer las expectativas del cliente, a pesar del costo elevado de inversión inicial. Asimismo, mediante el uso de esta tecnología se lograría la reducción de casi 40.4 toneladas de CO₂ emitidas anualmente en el campus universitario. En detalle, se deja constancia sobre lo antes mencionado en el desarrollo progresivo de este documento.

Palabras Clave: eficiencia energética, métrica, PUE, sistemas fotovoltaicos, centro de cómputo, FIEC, técnicas de medición, dimensionamiento eléctrico, dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

This document presents the analysis carried out on the efficient use of electricity, a project that included the participation of the FIEC computer center. With the purpose of demonstrating the importance and the benefits of the use of solar photovoltaic technology as a source to generate electricity, and reduce the expenses for electrical consumption, guaranteeing environmental sustainability, and converting to a more efficient computing center. The Design Thinking tool was used, a method by which the execution of the main tasks inherent in this project was carried out. Also mentioned are the materials, equipment and energy efficiency measurement techniques used to verify the general hypothesis of the same, which is simplified to change the way to supply it electrically and propose an alternative to conventional energy backup systems. It should be noted that the results obtained reveal how you can have greater energy efficiency, thanks to the participation of solar energy. The level of PUE achieved was 2.27, which leads to having a computer center with an acceptable energy efficiency. It is foreseen that having an SFV for the electrical supply of this establishment would allow a significant saving for electrical expenses, close to \$ 30,890.00, after recovering the investment. This concludes that the solution proposed in this thesis article can satisfy the client's expectations, despite the high cost of the initial investment. Likewise, through the use of this technology, the reduction of almost 40.4 tons of CO₂ emitted annually on the university campus would be achieved. In detail, a record is given of the aforementioned in the progressive development of this document.

Keywords: energy efficiency, metric, PUE, photovoltaic systems, data center, FIEC, measurement techniques, electrical sizing, sizing of the photovoltaic system.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	9
1. Introducción.....	9
1.1 Descripción del problema.....	10
1.2 Justificación.....	10
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO 2	12
2. Metodología.....	12
2.1 Empatizar	12
2.2 Definir.....	13
2.2.1 Insights	14
2.2.2 Matriz POV	14
2.3 Idear	15
2.3.1 Matriz importancia-dificultad	15
2.3.2 Matriz de decisión.....	16
2.4 Prototipar.....	18
2.4.1 Prototipo de baja resolución	18
2.4.2 Prototipo de alta resolución	22

2.5	Evaluar	22
CAPÍTULO 3		23
3.	Diseño de la solución	23
3.1	Dimensionamiento eléctrico	25
3.2	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido.....	26
3.2.1	Dimensionamiento del generador fotovoltaico.....	27
3.2.2	Dimensionamiento de baterías	32
3.2.3	Dimensionamiento del controlador e inversor MPPT	33
3.2.4	Dimensionamiento del cableado.....	35
3.3	Efecto de sombra	37
3.4	Diagrama de flujo	38
3.5	Instalación del sistema fotovoltaico.....	39
3.6	Análisis de eficiencia	41
3.7	Amortización de la inversión del sistema fotovoltaico	42
3.8	Mantenimiento del sistema fotovoltaico.....	45
3.9	Resultados	46
CAPÍTULO 4		49
4.	Plan de implementación y costos	49
4.1	Plan de implementación	49
4.2	Plan de costos.....	51
CONCLUSIONES.....		56
RECOMENDACIONES		57
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
UPS	Sistema de alimentación ininterrumpida
PDU	Unidad de distribución de energía
HSP	Hora pico solar
IDAE	Instituto para la diversificación y ahorro de la energía
AVEN	Agencia Valenciana de la Energía
SFV	Sistema fotovoltaico
TIA	Asociación de la industria de telecomunicaciones
DC	Corriente continua
AC	Corriente alterna
A/C	Acondicionador de aire

SIMBOLOGÍA

Mw	Megavatio
CO ₂	Dióxido de Carbono
PUE	Power Usage Effectiveness
DCE	Data Centre infrastructure Efficiency
ROI	Retorno de inversión
kWh	Kilovatio hora
W	Vatio
Wh	Vatio hora
Wp	Vatio pico
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
mm ²	Milímetros por metros cuadrados
MJ/m ²	Megajulios por metros cuadrados
V	Voltaje
A	Amperios
Ah	Amperios hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa de actores (Autoría propia).....	13
Figura 2.2 Sistema híbrido de energía (Autoría propia)	19
Figura 2.3 Sistema de enfriamiento free-cooling indirecto (Autoría propia).....	21
Figura 3.1 Sistema de respaldo actual en el centro de cómputo (Autoría propia)	23
Figura 3.2 Sistema fotovoltaico híbrido en combinación del UPS (Autoría propia) ...	24
Figura 3.3 Ubicación de la instalación fotovoltaica.....	26
Figura 3.4 Tipos de conexión de paneles solares (Autoría propia)	31
Figura 3.5 Manejo de intensidad del SFV de prueba	34
Figura 3.6 Diagrama de flujo del sistema híbrido de energía (Autoría propia)	38
Figura 3.7 Sitio de instalación del SFV – Edif. 16C Laboratorios de computación FIEC	40
Figura 3.8 Kit solar conexión a red trifásico de 144kWh/día	43
Figura 4.1 Kit Solar Fotovoltaico (AutoSolar)	52
Figura 4.2 Inversor solar de baja frecuencia – PV3000 MPK Series – 2KW	53
Figura 4.3 Módulo solar Policristalino de 36 celdas 150W (BlueSun)	53
Figura 4.4 Cable solar 4mm ² y conectores MC4	54
Figura 4.5 Estructura de soporte de tejado	54
Figura 4.6 Banco de baterías OPzS 765Ah 24V	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Listado de insights.....	14
Tabla 2.2 Matriz POV	15
Tabla 2.3 Matriz de decisión.....	17
Tabla 3.1 Total de potencia para los equipos de carga crítica	25
Tabla 3.2 Niveles de irradiación solar y HSP mensual en Ecuador.....	27
Tabla 3.3 Tabla de ángulos de inclinación	28
Tabla 3.4 Caída de tensión del cableado	37
Tabla 3.5 Niveles de eficiencia energética	41
Tabla 3.6 Componentes del kit solar conexión a red trifásico 144kWh/día	43
Tabla 3.7 Nuevas adquisidores del SFV	45
Tabla 3.8 Datos de eficiencia del centro de cómputo	47
Tabla 3.9 Energía producida en un día parcialmente despejado	47
Tabla 3.10 Energía producida en un día nublado/lluvioso.....	48
Tabla 4.1 Plan de implementación de la solución	50
Tabla 4.2 Cotización de equipos individuales.....	51
Tabla 4.3 Componentes del Kit Solar Fotovoltaico 2000Wh/día	51
Tabla 4.4 Costos de equipos usados en la instalación fotovoltaica.....	52

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El satélite Vanguard I [1], lanzado al espacio en 1958, evidencia el nacimiento de los paneles solares como fuente de energía eléctrica alternativa [2]. Desde entonces, el apogeo del uso de energía solar fotovoltaica se ve reflejada en los reportes estadísticos disponibles en la Internet. En el año 2010, la capacidad total instalada a nivel mundial era aproximadamente de 50,000Mw. Casi una década después se sumaron más de 300 mil Mw, lo que representa el 17,6% de capacidad total instalada a nivel mundial [3]. China, es el país con la mayor participación de capacidad de energía solar fotovoltaica [4].

En Ecuador, desde el año 2013, se empezó a ver un interés por la utilización de esta tecnología, con una capacidad total instalada de menos de 5Mw; al siguiente año, hubo un aumento importante de 26,48Mw, cifra que se mantuvo hasta el 2017, con pequeñas variaciones entre cada año [3]. Hoy en día, en Ecuador, ya existe una primera planta fotovoltaica, ubicada en la provincia de Imbabura. Esta puede satisfacer las necesidades energéticas de más de 2000 familias [5]. Cifras que muestran un país que apunta hacia un desarrollo económico y tecnológico sostenible.

En un escenario, donde se precisa la presencia del flujo eléctrico, por ejemplo: en un centro de cómputo. La utilización de la energía solar para la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares fotovoltaicos sería una solución tentativa para cubrir la demanda de energía eléctrica requerida, y garantizar su sostenibilidad y funcionabilidad. Por ello, las empresas tecnológicas más importantes del mundo optan por el uso de estos sistemas, para el abastecimiento eléctrico de sus localidades, como alternativa o único medio.

A partir de esto, se presenta el siguiente documento como resultado del análisis del uso eficiente de la energía eléctrica de un centro de cómputo.

1.1 Descripción del problema.

En estos tiempos, es común encontrarnos con problemas e irregularidades del servicio eléctrico público, y como resultado de esto, los riesgos son mayores para la seguridad de equipos electrónicos. Entre los peligros inherentes a la red eléctrica pública, están: fluctuaciones de energía (coloquialmente, llamados apagones), subtensión (cuando la amplitud de la tensión es menor a lo normal), sobretensión (cuando la amplitud de la tensión es mayor a lo normal), ruido (cargas externas), entre otros [6].

Ante eventualidades como estas, sino se toman acciones preventivas y/o correctivas, las consecuencias pueden ser graves. Desde daños mínimos a irreparables en equipos electrónicos, hasta la pérdida de datos e información. Por ello, para una empresa es necesario contar con un sistema de generación y respaldo de energía eléctrica que le permita operar con normalidad y minimizar los perjuicios ocasionados por los inconvenientes propios del sistema eléctrico. Pero, sin embargo, la implementación de un sistema de respaldo energético no es una idea barata. Sin mencionar las desventajas de estos respecto al medio ambiente [7], su tiempo de vida útil, la manera en que funcionan [8], y demás.

Considerando que, en Ecuador, una de las ciudades más afectados por los constantes apagones eléctricos es Guayaquil [9]. El centro de cómputo de la FIEC (Facultad de Electricidad y Computación), ubicado en la ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral) [10]; requiere asegurar la integridad tanto de los equipos que lo conforman, como de la abundante información y datos que se manejen en él.

1.2 Justificación

El impacto ambiental producido por la energía solar fotovoltaica es alentador, respecto a los beneficios ecológicos que encontramos en ella. Se puede reducir hasta 80 veces la cantidad de CO₂ (dióxido de carbono) radiodifundida por paneles solares, en comparación a una central hidroeléctrica [11]. Principalmente por estas razones, en la industria actual, la energía solar fotovoltaica se está abriendo terreno a pasos agigantados.

Por otro lado, en Ecuador, luego del petróleo y la hidroelectricidad, la energía solar podría convertirse en una tercera fuente para la generación de electricidad. Ya que, debido al posicionamiento de nuestro país en el espacio geográfico del planeta, se tienen niveles de radiación solar suficientes para energizar a todo el país [12].

Por las razones ya mencionadas, este proyecto promueve la implementación de soluciones fotovoltaicas en el Ecuador, país que, gracias a las bondades de la naturaleza, y el avance tecnológico, podría suplantar el sistema eléctrico convencional, o empezar a dar mayor participación a la energía solar para satisfacer la demanda energética en lugares remotos, o en donde sea dificultoso acceder al servicio eléctrico público.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar el uso eficiente de la energía eléctrica en un centro de cómputo, comparando una solución de respaldo convencional con una eco amigable, para la posible implementación de paneles fotovoltaicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar una solución provisional de generación y respaldo de energía, mediante la utilización de paneles fotovoltaicos y baterías, para el abastecimiento eléctrico de un centro de cómputo.
- Registrar el desempeño eléctrico de un centro de cómputo, con la aplicación de mecanismos, y el uso de instrumentos para la medición de eficiencia energética.
- Proponer una solución de energización que permita la participación de energías renovables, a través de tecnología solar fotovoltaica, para la disminución del impacto ambiental.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología de Design Thinking [13], cuya implementación por etapas permitió llegar a una solución creativa y asertiva para la problemática ya planteada, satisfaciendo las necesidades y prioridades del cliente. Las etapas del proceso son: empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar.

A continuación, se describen sus etapas y las herramientas utilizadas en cada una de ellas, también se hace referencia a los procedimientos y resultados obtenidos durante su aplicación.

2.1 Empatizar

La etapa empatizar tuvo como finalidad conocer y comprender al cliente, mediante una entrevista que permitió identificar puntos claves como sus necesidades y prioridades.

En esta etapa se necesitó de:

- Investigación secundaria: donde se investigó a profundidad acerca de los paneles fotovoltaicos, su uso al rededor del mundo y todo aquello que proporcione seguridad a la hora de proponer la resolución del problema en cuestión, la recopilación de información también sirvió como base para la formulación del banco de preguntas que posteriormente se utilizó en la investigación primaria.

En esta primera investigación se destacaron algunos puntos, tales como:

- La energía solar costará alrededor de 0,03 centavos, en 2020 [14].
- En Ecuador, el precio por USD/kWh de la energía eléctrica para el sector industrial oscila entre los 0,05 y 0,1037 centavos [15].
- El tiempo de retorno de inversión comprende un promedio de 5 a 7 años [16].
- El tiempo de vida útil de sistemas fotovoltaicos esta entre 25 y 40 años, dependiendo de la calidad de mantenimiento dado [17].
- El uso de sistemas fotovoltaicos en centros de cómputo proporciona una mayor eficiencia energética [18].

- Investigación primaria: es la subetapa más importante porque es aquí donde se descubrió los actores internos y externos, es decir, aquellos personajes que de alguna manera se ven afectados por la problemática descrita, véase figura 2.1

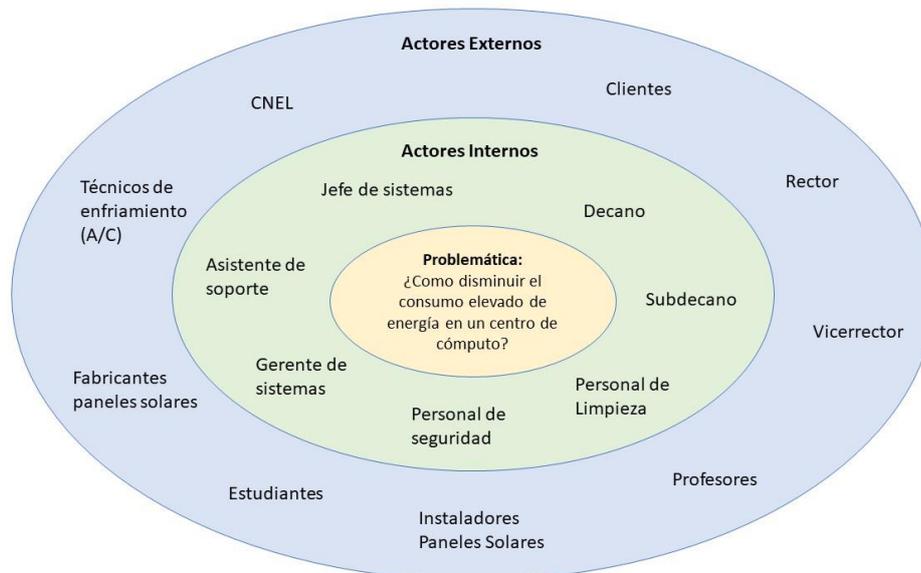


Figura 2.1 Mapa de actores (Autoría propia)

Como actor principal se identificó a la Ing. Margarita Filian, Jefe de Sistemas, al cual se entrevistó, con la finalidad de empatizar, y con ello descubrir sus necesidades y prioridades.

Luego, por medio de la herramienta “mapa de empatía” se registró información asociada a lo que el cliente: piensa, siente, ve, oye, dice y hace; véase anexo 1.

2.2 Definir

Para definir una solución “definitiva” de la problemática, fue necesario tomar en cuenta cada uno de los detalles observados cuando el actor principal fue entrevistado, a tal punto que se descubrió sus necesidades y prioridades ocultas, tales como:

- Mejorar la eficiencia energética del centro de cómputo.
- Minimizar los gastos por consumo eléctrico.
- Garantizar la operabilidad y estabilidad del centro de cómputo.
- Contar con un sistema de climatización adecuado.

- Reducir la huella ecológica dentro del campus.

En las siguientes secciones, se describen los procedimientos y herramientas usadas con las que se concluyó a las ideas antes mencionadas.

2.2.1 Insights

Al analizar las necesidades del cliente, se infirieron cosas que a simple vista no se podían ni percibir, pero ayudaron a la búsqueda de la solución, véase tabla 2.1.

INSIGHTS
La mayor cantidad de consumo eléctrico es dada en centros de cómputo pequeños.
Uno de los factores más relevantes es contar un sistema de enfriamiento adecuado.
El super dimensionamiento de equipos de energía conlleva al desperdicio de electricidad.
El desconocimiento sobre las alternativas para la generación de energía eléctrica hace que las personas sigan usando el sistema eléctrico convencional.
La escasa implementación de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador, incide en la necesidad de mayor apoyo gubernamental.

Tabla 2.1 Listado de insights

A continuación, se detallan los 3 insights más importantes:

- Se infirió que “la mayor cantidad de consumo eléctrico es dado en centros de cómputos pequeños” porque no tienen un adecuado dimensionamiento eléctrico.
- “Uno de los factores más relevantes es contar un sistema de enfriamiento adecuado”, ya que el centro de cómputo de FIEC, tiene como sistema de enfriamiento equipos de A/C.
- Se observó la necesidad de un adecuado dimensionamiento eléctrico, “el súper dimensionamiento de equipos de energía conlleva al desperdicio de energía eléctrica”.

2.2.2 Matriz POV

En la matriz POV se menciona al actor principal, y se definen las necesidades que se justifican cada insight.

La idea es relacionar las necesidades más importantes del cliente con los insight para obtener como resultado la creación de una problemática real y viable, con la que se trabaja en este proyecto, véase tabla 2.2.

USUARIO	+	NECESIDAD	+	INSIGHT
Jefe de sistemas	Necesita	Reducir gastos en electricidad	Porque	La mayor cantidad de consumo eléctrico es dada en centros de cómputo pequeños.
Jefe de sistemas	Necesita	Mejorar el sistema de climatización	Porque	Uno de los factores más relevantes es contar un sistema de enfriamiento adecuado.
Jefe de sistemas	Necesita	Optimizar la cantidad de recursos energéticos	Porque	El super dimensionamiento de equipos de energía conlleva al desperdicio de electricidad.

Tabla 2.2 Matriz POV

2.3 Idear

La etapa de ideación es importante porque con ella se buscan soluciones adecuadas que compensen las necesidades del cliente. Aquí, se hizo uso de técnicas que ayudaron al sondeo de ideas que aportaron a la resolución del problema.

Mediante la técnica brainstorming los “6 sombreros para pensar”, de Edward de Bono, se obtuvo un arsenal de ideas que luego fueron validadas a través de la técnica de analogías [19].

2.3.1 Matriz importancia-dificultad

En la matriz de importancia-dificultad se registró las ideas resultantes del brainstorming, donde cada una fue ubicada de acuerdo con su nivel de importancia y dificultad de aplicación, para priorizar y posteriormente decidir cuál es la mejor manera de solucionar la problemática.

En el anexo 2, se observa la matriz de importancia-dificultad, y las ideas plasmadas en ella, cuya organización se basa en dos criterios: importancia alta y baja, dificultad alta y baja.

2.3.2 Matriz de decisión

En la matriz de decisión se utilizó las ideas de mayor relevancia que se identifican en la matriz de importancia-dificultad, véase anexo 2. Seguido de esto, con la herramienta matriz de decisión se evaluó cada propuesta de solución, donde se dio un puntaje entre 0 y 5, bajo los siguientes criterios: reducción de gastos de electricidad, calidad del sistema de climatización, optimización de recursos, bajo costo, retorno de inversión, tiempo de vida útil, eficiencia energética, costo de mantenimiento y fácil instalación. Al final, se obtuvo dos ideas o propuestas de solución con mayor puntaje, las cuales se describen más adelante junto a su respectivo prototipado, véase tabla 2.3.

Propuestas de solución	Reduce gastos en electricidad	Calidad del sistema de climatización	Optimiza recursos	Bajo costo	Retorno de inversión	Tiempo de vida	Eficiencia energética	Costo mantenimiento	Fácil instalación	Total
9. Proporcionar un mantenimiento concurrente a los componentes que conforman el centro de cómputo	2	1	4	2	3	4	4	2	1	23
10. Establecer mecanismos de medición de eficiencia energética	3	4	3	2	3	4	4	3	1	27
33. Implementar un sistema de respaldo energético por medio de paneles solares y baterías	4	3	4	1	5	5	4	3	4	33
28. Determinar que elementos existentes necesitan ser reemplazados para cambiar el sistema eléctrico actual, y sus respectivos equipos	5	3	4	2	2	2	3	2	1	24
37. Implementar un sistema de enfriamiento tipo free-cooling indirecto	3	4	4	2	3	3	3	3	3	28
19. Evitar la mezcla de ambientes fríos y calientes, mediante el uso de sistemas de contención de pasillo frío (CACs) y caliente (HACS)	3	4	3	2	2	3	4	3	3	27
7. Instalar sistemas de enfriamiento por hileras	2	3	3	1	1	1	4	1	2	18
33. Tener dispositivos adicionales que ayuden a mitigar la contaminación ambiental	2	2	2	1	1	2	2	2	2	16

Tabla 2.3 Matriz de decisión

2.4 Prototipar

Esta etapa está orientada al desarrollo y diseño modular y escalable de las posibles soluciones para la problemática. Fue aquí donde se hizo uso del pensamiento creativo y de herramientas tecnológicas para la creación de prototipos de baja y alta resolución, los cuales fueron presentados ante el actor principal, quien con su retroalimentación sobre cada idea ayudó a decidir cuál era la mejor forma de atacar el problema.

2.4.1 Prototipo de baja resolución

Una vez decidido cuales son las posibles soluciones para la problemática, se procedió a realizar un prototipo de baja resolución para cada propuesta, haciendo uso de la herramienta ofimática Microsoft Visio [20].

- **Propuesta de solución A:**

“Implementar un sistema de respaldo energético por medio de paneles solares y baterías.”

La primera propuesta de solución obtuvo el mayor puntaje con 33 puntos. Esta consiste en la implementación de un sistema híbrido que utilice la energía solar y la red eléctrica pública, para el abastecimiento eléctrico de equipos de carga crítica del centro de cómputo de la FIEC. En donde la transformación de la energía solar en eléctrica se realice por medio de un sistema fotovoltaico híbrido [21], compuesto por los siguientes elementos:

- Módulos o paneles solares
- Controlador de carga/Inversor
- Baterías

Este sistema por tener una conexión a red proveerá de energía eléctrica a los equipos de TI, mientras haya energía solar suficiente que supla los requisitos de potencia requeridos para su correcto funcionamiento. Esto quiere decir que no habría una dependencia total de la energía solar. Para comprender y tener una mejor idea de la topología del sistema propuesto, véase figura 2.2.

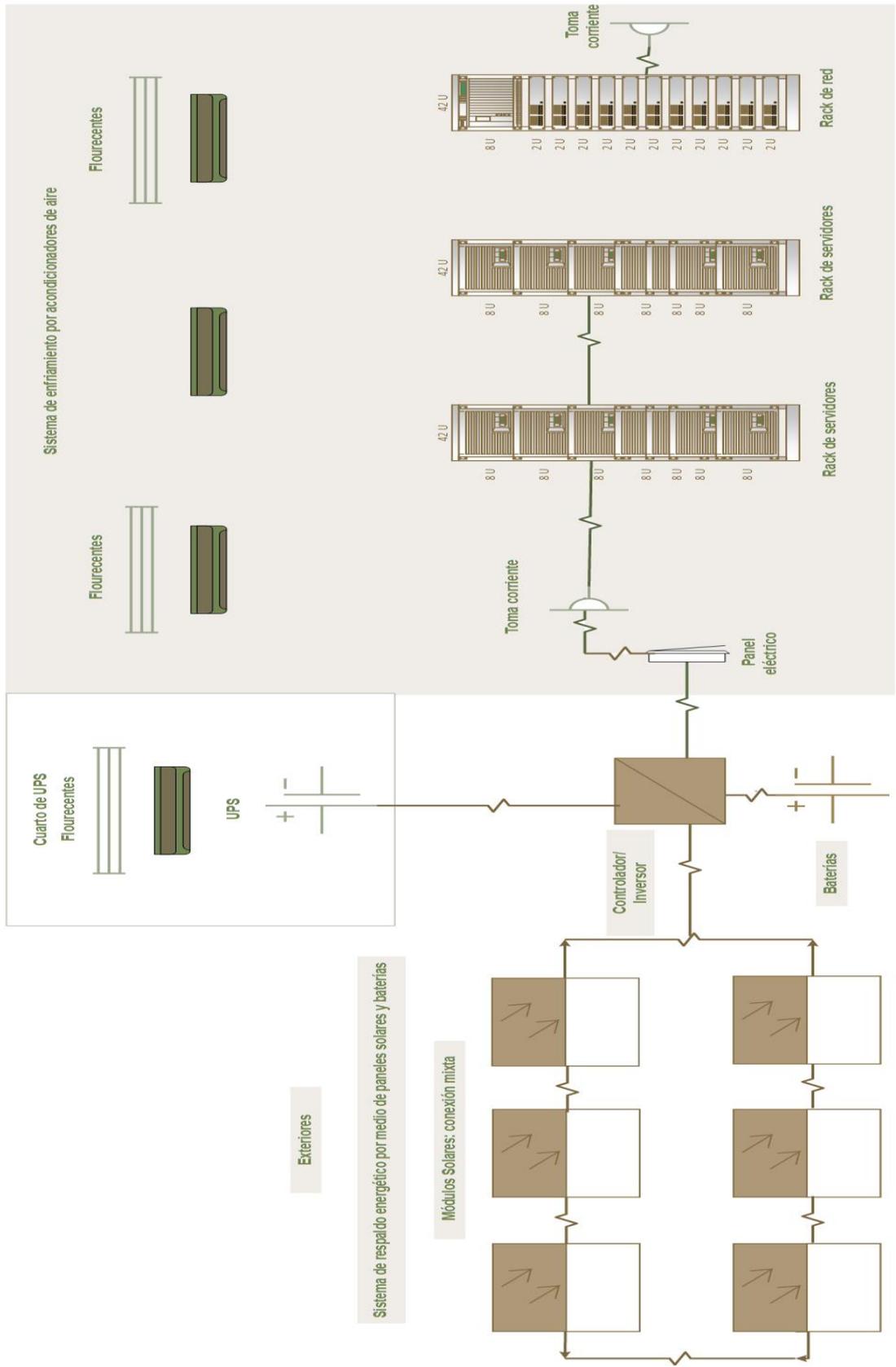


Figura 2.2 Sistema híbrido de energía (Autoría propia)

- **Propuesta de solución B:**

“Implementar un sistema de enfriamiento tipo free-cooling indirecto.”

La segunda propuesta obtuvo 28 puntos, con esta idea se busca resolver los problemas como: consumo eléctrico elevado, contaminación ambiental, etc. Varias son las formas con las que puede operar el free-cooling indirecto, y los factores que determinan el mejor método a implementar en el centro de cómputo. En este caso, se pretende la utilización de un sistema de enfriamiento híbrido, por disipación de calor sencilla a través de la mezcla de agua y glicol, expansión directa, y free-cooling indirecto. Debido a la limitación de recursos económicos se optó por el free-cooling indirecto [22].

Existen muchas propuestas en el mercado actual, pero para este particular caso requiere de una solución modular, escalable y compacta, que se ajuste a las necesidades del cliente. El sistema de free-cooling se basa en el método de la convección utiliza agua y aire ambiente para extraer el calor producido por los equipos de TI al recorrer el centro de cómputo.

Debido a que estos sistemas precisan de agua para su funcionamiento, se planteó adquirir un equipo de enfriamiento para interiores CyberCool de la versión estándar GE [23].

En la figura 2.3, se puede ver al equipo de enfriamiento CyberCool dentro del centro de cómputo conectado a una toma auxiliar de agua. También se observa un cambio en la ubicación del UPS. Con esto, se brinda una adecuada climatización al centro de cómputo y al sistema de UPS en un mismo edificio.

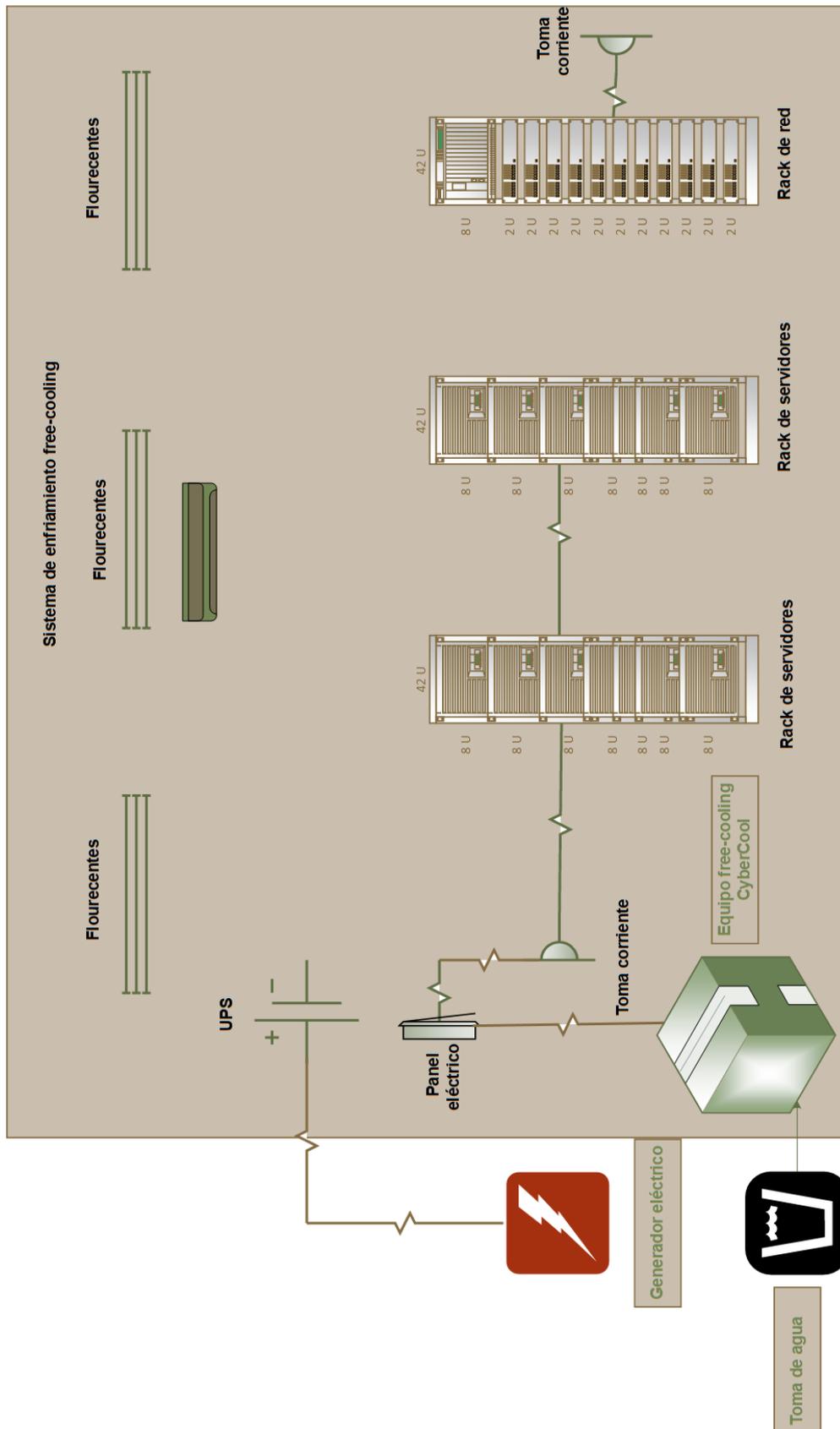


Figura 2.3 Sistema de enfriamiento free-cooling indirecto (Autoría propia)

2.4.2 Prototipo de alta resolución

La propuesta que se ajustó más a las necesidades del cliente fue ilustrado a través de un prototipo de alta resolución, el mismo que fue presentado al cliente. La validación de la solución elegida se basó en la recopilación de información de retroalimentación, la cual fue registrada en una “matriz de feedback”, donde se tienen los siguientes criterios:

- Qué le gustó
- Qué no le gustó
- Preguntas
- Sugerencias

En el anexo 3, se observa la matriz de feedback del cliente donde se resalta que sus puntos de interés son el tiempo de retorno de la inversión, y la vida útil de los equipos. Sobre la solución mencionada aquí y en la sección de prototipo de baja resolución, se hablará en detalle en el siguiente capítulo.

2.5 Evaluar

Esta subetapa permitió iterar sobre los procesos de cada etapa con la finalidad de mejorar continuamente las ideas o soluciones previstas en ellas.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Antes de presentar la solución es sustancial mostrar el sistema de respaldo de energía actual del centro de cómputo de la FIEC (véase figura 3.1), el cual se basa en un generador eléctrico y un sistema UPS.

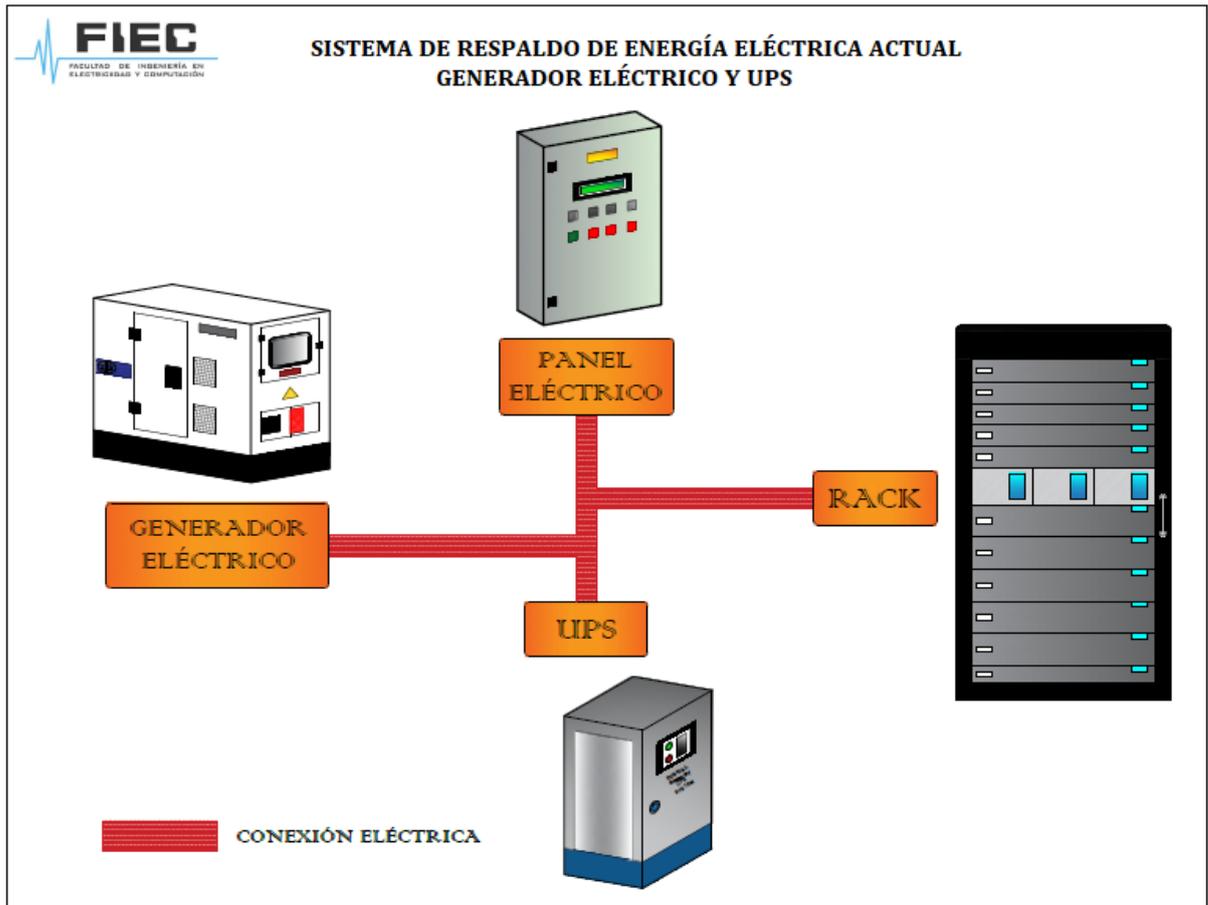


Figura 3.1 Sistema de respaldo actual en el centro de cómputo (Autoría propia)

Luego de la aceptación de la propuesta de la solución final (de la cual se habló de manera breve en el capítulo anterior, véase figura 3.2), se procedió a recopilar información conexas a la capacidad de potencia eléctrica de cada equipo que conforma el centro de cómputo de la FIEC, con el fin de dar un correcto dimensionamiento al sistema fotovoltaico de prueba.

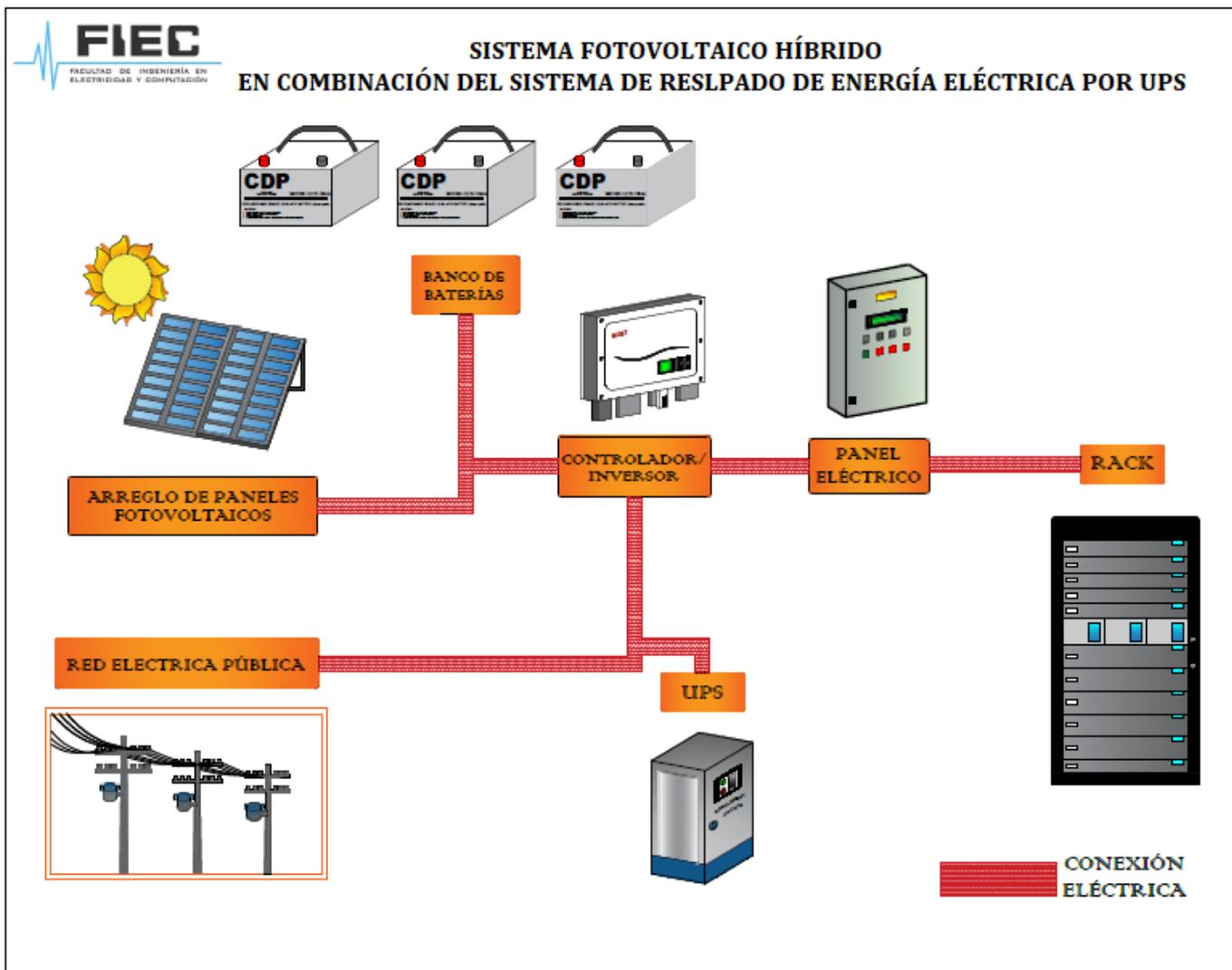


Figura 3.2 Sistema fotovoltaico híbrido en combinación del UPS (Autoría propia)

3.1 Dimensionamiento eléctrico

La densidad energética del centro de cómputo, por lo general, se divide en cuatro cargas eléctricas, entre ellas: equipos de TI, iluminación, sistema de enfriamiento y UPS. En esta ocasión, sólo nos enfocamos en una de ellas, específicamente la carga crítica o carga TI. La tabla 3.1, registra información sobre la capacidad de consumo de cada uno de los elementos de TI, la cantidad y el tipo de dispositivo, así como también, el total de potencia para satisfacer los requisitos eléctricos en kW, la cual según los cálculos realizados trabaja a 5.51kW cifra que se obtuvo mediante la ejecución de los siguientes pasos:

1. Sumar las potencias indicadas por el fabricante en Vatios.
2. Dividir la suma de las potencias por 1000, para establecer la carga en kW.
3. Multiplicar la carga crítica en kW por 1.3 (factor de instalaciones futuras), para la estimación del valor de carga futura.

Equipo	AC Power	Consumo Unidad (W)	Cantidad	Consumo total (kW)
SWITCH (24P)	AC 100-240 V, 50/60 HZ, 60 W	60	2	120
SWITCH (24P)	AC 120/230 V, 50/60 Hz, 55 W	55	10	550
SWITCH-ROUTER	715 WAC, AC 120/230 V, 50/60 Hz	715	1	715
CPU	AC 100-240 V, 100 W	100	1	100
CPU - SERVIDOR	AC 100-240 V, 22 W	22	9	198
CPU - SERVIDOR	AC 110-220 V, 250 W	250	1	250
CPU - SERVIDOR	AC 100-240 V, 650 W	650	1	650
SERVIDOR	AC 100-240 V, 400 W	400	2	800
SERVIDOR	AC 100-240 V, 525 W	525	1	525
CPU	AC 100-240 V, 110 W	110	3	330
Total carga crítica (kW)				4.24
Total carga crítica futura (kW)				5.51

Tabla 3.1 Total de potencia para los equipos de carga crítica

*La capacidad total de consumo de carga crítica servirá más adelante para la medición general de eficiencia energética del centro de cómputo.

3.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido

A la hora de dimensionar un sistema fotovoltaico es necesario conocer la capacidad de potencia de los equipos a los que se abastecerá con energía eléctrica, así como también el número de horas que trabajan. De acuerdo a los cálculos anteriores la capacidad de operación de la carga crítica por hora es de 5.51kW, sin embargo, el centro de cómputo funciona las 24 horas del día, por ende, fue pertinente su valoración por el número total de horas de trabajo.

El clima es otro factor clave, ya que influye en la cantidad de energía eléctrica generada por un panel solar. El parámetro HSP (hora solar pico) es considerado para la medición de energía recibida por cada m^2 , la misma que dependerá del espacio geográfico en donde se ubique la instalación fotovoltaica: Edificio 16C Laboratorios de Computación FIEC - ESPOL (véase figura 3.3).



Figura 3.3 Ubicación de la instalación fotovoltaica

La tabla 3.2, muestra los niveles de irradiación solar y el HSP (hora solar pico) mensual en Ecuador, proporcionados por el Atlas solar del Ecuador [24].

Mes	Irradiación	HSP
Enero	3393	3.393
Febrero	4373	4.373
Marzo	3476	3.476
Abril	4231	4.231
Mayo	4212	4.212
Junio	3370	3.37
Julio	4124	4.124
Agosto	3926	3.926
Septiembre	5186	5.186
Octubre	4072	4.072
Noviembre	3827	3.827
Diciembre	4576	4.576

Tabla 3.2 Niveles de irradiación solar y HSP mensual en Ecuador - 2017

Dado que el HSP varía mes a mes se procedió a promediar los niveles de irradiación por el total de meses del año dando como resultado 4.064 MJ/m².

Tomando en cuenta que el objetivo de este proyecto es analizar el uso eficiente de la energía eléctrica, se prosiguió a tomar una muestra de 5 servidores con menor consumo, también se consideró minimizar el tiempo de trabajo a 6 horas, para minimizar la cantidad de recursos usados en la implementación del sistema fotovoltaico de prueba.

Con esto, se determinó el marco muestral de carga crítica que trabaja a 1656 vatios diarios, dato conseguido al sumar el valor nominal de cada dispositivo de TI multiplicado por el número de horas de trabajo, véase anexo 4.

3.2.1 Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Como parte del dimensionamiento del generador fotovoltaico se debió tomar en cuenta las coordenadas del sitio de instalación, que fueron sacadas de la aplicación web de Google Earth: 2° 08'42"S, 79° 58'02"W (latitud y longitud ESPOL, Guayaquil) [25]. También, se usó de guía la tabla 3.3 donde se indican los grados de inclinación mínima que deben tener los paneles solares

de acuerdo a la latitud del lugar. Ya que nos encontramos en el hemisferio sur los paneles tuvieron una orientación con mirada hacia el norte y un ángulo de inclinación de 15° para evitar la acumulación de agua, polvo o cualquier elemento que obstruya a la captación de energía solar.

Latitud del lugar (grados)	Ángulo de inclinación
0° - 15°	15°
15° - 25°	Misma latitud
25° - 30°	Latitud más 5°
30° - 35°	Latitud más 10°
35° - 40°	Latitud más 15°
40° en adelante	Latitud más 25°

Tabla 3.3 Tabla de ángulos de inclinación

Una forma de estar al tanto de la potencia total necesaria para el arreglo de paneles solares es multiplicando el consumo diario por 1.3 (factor de seguridad), y su resultado se divide entre el HSP, cuyo valor se aproxima a los 530W.

El próximo paso fue buscar en el mercado nacional e internacional un arreglo de paneles solares que sumada su capacidad en vatios se acerque al valor obtenido en la operación antes hecha. Se halló en el ámbito nacional paneles solares de 150W, los cuales fueron usados en la instalación fotovoltaica.

El dimensionamiento del generador fotovoltaico refiere al conjunto de paneles solares instalados, el mismo que se definió a partir de la siguiente ecuación:

$$N_P = E * F_{CT} / W_P * HSP \quad (3.1)$$

Siendo:

N_P , numero de paneles solares

E, consumo diario en W

W_P , potencia del panel solar en W

HSP, hora solar pico

F_{CT} , coeficiente de pérdidas por temperatura y rendimiento (1.3)

Reemplazo en datos reales:

$$N_P = 1656 * 1.3 / 150 * 4.064$$

$$N_P = 3.53$$

$$N_P = 4$$

Antes de definir el tipo de conexión de los paneles solares [26] (véase figura 3.4), se mencionan los siguientes aspectos sobre los modos de conexión:

- **Conexión en serie**

- Los paneles solares se conectan entre sí formando una cadena.
- Se conecta el polo positivo del panel anterior con el polo negativo del siguiente.
- Se suma el voltaje de todos los paneles solares.
- Los amperios son constantes.
- Se necesita un único cable para cada cadena en serie.
- Comúnmente usados para paneles solares con una capacidad de trabajo entre 200W y 260W.
- Paneles solares de 36 o 72 celdas requieren de un regulador PWM

- **Conexión en paralelo**

- Se conectan los polos negativos y positivos por separado.
- La conexión es centralizada.
- Se suma la intensidad o amperios de todos los paneles solares.
- El voltaje es constante.
- Comúnmente usados para paneles solares de 12V y de 36 celdas.
- Es necesario el uso de reguladores MPPT.

- **Conexión mixta**

La corriente (amperios) y tensión (voltaje) aumenta, por ejemplo:

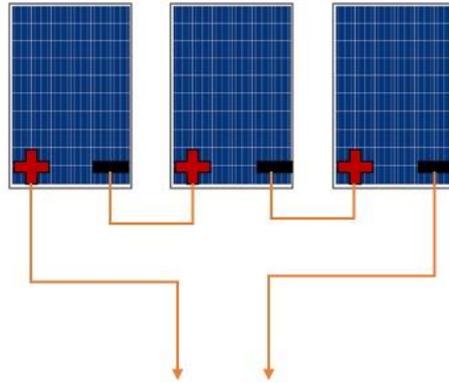
- Si se tienen 6 paneles solares de 150W, 8.63A y 22.4V cada uno, y se conectan 2 grupos de 3 placas, la capacidad total instalada sería de

300W. La corriente y la tensión se acumulan dando 17.26A y 44.8V, respectivamente.

- Su uso se da, habitualmente, cuando se precisa la conexión de más de 5 paneles solares de 60 celdas, la potencia total de instalación supera los 200W.
- Es necesario el uso de reguladores MPPT para adaptar el flujo eléctrico de acuerdo a las características de las baterías.

Conexión en serie

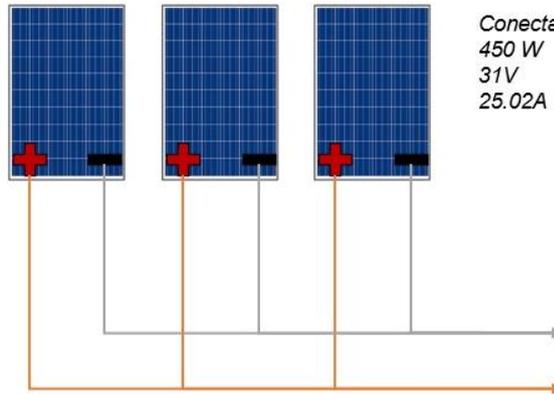
Datos de la placa:
150 W
24V ($V_{mp}=31V$)
8.34A



Conectadas en serie:
450 W
93V
8.34A

Conexión en paralelo

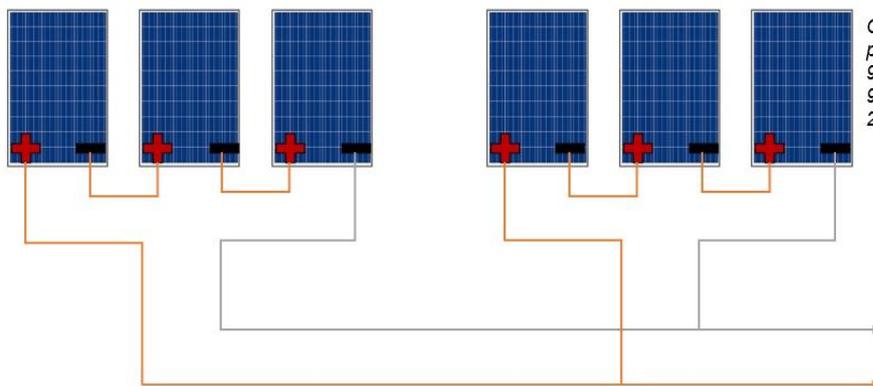
Datos de la placa:
150 W
24V ($V_{mp}=31V$)
8.34A



Conectadas en paralelo:
450 W
31V
25.02A

Conexión mixta

Datos de la placa:
150 W
24V ($V_{mp}=31V$)
8.34A



Conectadas en serie y paralelo ofrecen:
900 W
93V
25.02A

Figura 3.4 Tipos de conexión de paneles solares (Autoría propia)

De acuerdo a las condiciones expuestas sobre cada tipo de conexión, el arreglo de paneles solares fue conectado de forma mixta, con el fin de llevar una misma tensión dentro del sistema fotovoltaico. A este punto, se tuvo que decidir que método de cálculo usar para el dimensionado. Después de debatir entre cuales de los métodos existentes escoger para realizar esta importante tarea, se asumió que el método más apropiado era el “método tradicional” [27]. Por consiguiente, se asumió que la mejor alternativa era usar un controlador de carga MPPT [28], ya que debido a sus características es propicio para instalaciones donde se maneja mucha potencia, además facilitan el mantenimiento de los acumuladores.

3.2.2 Dimensionamiento de baterías

Definido el consumo diario requerido con un máximo 1.656kWh, y la máxima profundidad de descarga a un 50%. Las fórmulas mostradas (3.2 y 3.3) sirvieron para estimar la cantidad de baterías y capacidad del banco de baterías.

$$I_c = E / V_s \quad (3.2)$$

Siendo:

I_c , intensidad de corriente A

E, consumo diario en W

V_s , voltaje del sistema: 24V

Reemplazando en datos reales:

$$I_c = 1656 / 24$$

$$I_c = 69A$$

$$C = (N * I_c / \text{MaxPD}) * F_{CT} \quad (3.3)$$

Siendo:

C, capacidad de baterías

N, número de días de autonomía

E, consumo diario en W

Max_{PD} , máxima profundidad de descarga

F_{CT} , coeficiente de pérdidas por temperatura y rendimiento (1,3)

Reemplazando en datos reales:

$$C = (4 * 69 / 0.50) * 1.3$$

$$C = 717.6Ah$$

Partiendo de este valor se dice que la capacidad total del banco de baterías debió ser de aproximadamente 718Ah. Por lo tanto, el siguiente paso fue buscar en el mercado un banco de baterías cuya capacidad de almacenamiento se avecine a la cantidad de amperios por hora proyectados.

Es importante mencionar que los días de autonomía no necesitan de cálculos matemáticos para ser obtenidos, puesto que en ningún día por más oscuro que sea, los paneles solares siempre captarán algo de energía solar, por ello se pueden establecer teóricamente cuantos días de autonomía tendrá la instalación fotovoltaica. En esta oportunidad, se determinó 4 días de autonomía lo cual quiere decir que las baterías cuentan con 4 veces más de energía de la consumida por la muestra de carga crítica de TI del centro de cómputo.

3.2.3 Dimensionamiento del controlador e inversor MPPT

Debido a que la tensión de los paneles solares y de las baterías manejadas en el sistema fotovoltaico de prueba son distintas (véase figura 3.5), se planteó usar un equipo MPPT de doble funcionalidad, que regula la carga y, al mismo tiempo convierte la corriente continua (DC) en alterna (AC).

El modo de operación de los controladores de carga MPPT, se menciona abajo:

- El convertidor de tensión de corriente continua permite trabajar con voltajes distintos, a la vez.

- Adapta la tensión del sistema para aprovechar al máximo la potencia generada por los paneles solares.

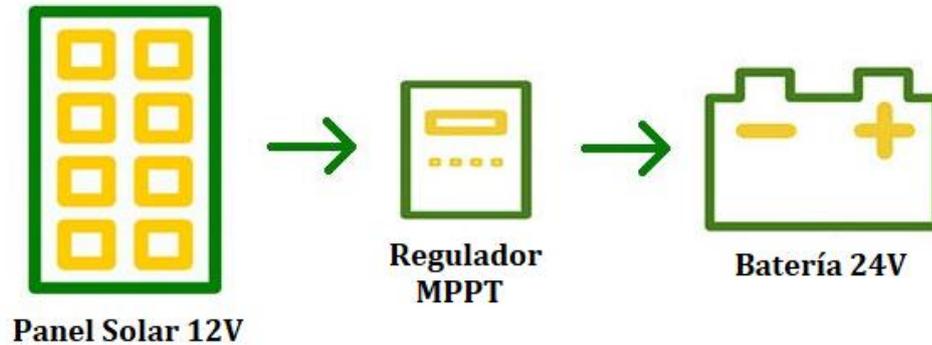


Figura 3.5 Manejo de intensidad del SFV de prueba

La elección del equipo controlador/inversor también ameritó de operaciones matemáticas, cuyo proceso de cálculo preside el orden de las siguientes ecuaciones (3.4 y 3.5):

$$P_T = (N_P \cdot W_P / V_B) \cdot F_{CT} \quad (3.4)$$

Siendo:

P_T , potencia total instalada

N_P , numero de paneles solares

W_P , capacidad del panel solar

V_B , capacidad nominal de batería

F_{CT} , coeficiente de pérdidas por temperatura y rendimiento (1.2)

Reemplazando en datos reales:

$$P_T = 4 \cdot 150$$

$$P_T = (600 / 24) \cdot 1.2$$

$$P_T = 30A$$

$$I_{NV} = I_c * F_{CT} \quad (3.5)$$

Siendo:

I_{NV} , capacidad del inversor

I_c , intensidad de corriente del sistema A

F_{CT} , coeficiente de pérdidas por temperatura y rendimiento (1.2)

Reemplazando en datos reales:

$$I_{NV} = 69 * 1.2$$

$$I_{NV} = 82.8$$

$$I_{NV} = 83A$$

La elección del controlador/inversor se dio de multiplicar el total de paneles solares por su potencia en W, su resultado dividido entre la capacidad nominal de las baterías, y el cociente multiplicado por 1.2 (factor de seguridad). Se optó por escoger un controlador/inversor que soporte una capacidad de salida alrededor de 30 amperios.

Como se explicó al inicio de esta sección, se propuso usar un equipo de doble funcionalidad. Por ende, el siguiente paso fue la búsqueda de un equipo con características similares a las ya nombradas. Al final, el equipo controlador/inversor electo soportaría una carga eléctrica de al menos 2kWh.

3.2.4 Dimensionamiento del cableado

El sistema de cableado puede significar un punto de debilidad, cuando este no es dimensionado correctamente se pueden tener caídas de tensión que sobrepasan el límite soportado por los cables, aumentando el nivel de temperatura como consecuencia de una corriente circulante superior a la permitida. Se tomaron datos de referencia como la corriente máxima del panel solar ($I_{mp/V}$) 8.63, la tensión máxima del panel solar ($V_{mp/V}$) 17.5 y el voltaje de circuito abierto ($V_{oc/V}$) 22.4; valores descritos en la ficha técnica suministrada por el fabricante. Asimismo, es transcendental conocer 5 aspectos al dimensionar el cableado cuando se tiene un regulador MPPT:

- No superar el voltaje máximo, sus valores normales son entre 15V a 100V.
- La tensión del sistema fotovoltaico debe ser mínimo 2V superior a la tensión de las baterías.
- No exceder la potencia máxima permitida por el regulador solar.
- El número de paneles conectados en serie debe ser el mismo.
- Los paneles solares conectados en serie deben ser iguales.

Los valores que fueron apreciados para dimensionar el cableado, se describen abajo. Además, en la tabla 3.4 se muestra la caída de tensión del mismo:

- L1, distancia entre el arreglo de paneles solares y la caja de conexiones. Se duplica la longitud de la misma de 2 a 5m. Este tramo regularmente se fija entre los 4mm² y los 10mm².
 - Corriente I_{mp} del panel solar, 8.63A.
 - Tensión V_{mp} del panel solar, 17.5V.
- L2, distancia entre el arreglo de paneles solares y el regulador solar. Este tramo regularmente se fija entre los 4mm² y los 16mm², con una distancia mínima de 10m. Debido a que se manejan tensiones bajas, la sección usada puede ser de 4mm².
 - Corriente I_{mp} del panel solar, 8.63A por 6 paneles solares: 51.78A
 - Tensión V_{mp} del panel solar, 17.5V por 6 paneles solares: 105V
- L3, distancia entre el regulador solar y las baterías. La longitud suele ser de 1 a 2m, el objetivo es reducir al máximo esta sección debido a que la corriente es elevada y la tensión es baja. Este tramo regularmente se fija entre los 25mm² y los 35mm².
 - Se divide el total de consumo entre la tensión de la batería.
 - Tensión nominal de las baterías.

Línea	Longitud	Corriente(A)	Tensión(V)	Perdidas	Sección Comercial mm ²	Caída de Voltaje
L1	5	8.63	17.5	1%	6	0.794%
L2	10	51.78	105	0.75%	10	0.635%
L3	2	276	24	0.75%	35	0.578%
					Total	2.007%

Tabla 3.4 Caída de tensión del cableado

Los valores recomendados para cada línea son:

Paneles – regulador 1%, máximo 3%

Regulador – acumulador 0.5%, máximo 1%

Batería – inversor 1%, máximo 1%

Según la IDAE y la AVEN, recomiendan un máximo de pérdidas total de la instalación del 1,5% [29]. En este proyecto se evitó el excedente menor del 3% de caída total de la instalación fotovoltaica.

3.3 Efecto de sombra

Hay que tener en cuenta el efecto negativo que tienen las sombras en la instalación fotovoltaica, ya que la cantidad de energía solar captada por los paneles solares puede variar notablemente. Asimismo, el sombreado puede provocar daños físicos en las placas solares, lo que comúnmente se conoce como “Punto Caliente” (Hot Spot), causando deterioros progresivos en las celdas, sobrecalentándolas a tal punto de quemarlas. Por ello, es importante invertir en placas solares de alta calidad, o bien sea, asegurarse de que la instalación fotovoltaica cuente con diodos de bloqueo o Bypass, para evitar la disipación de potencia, la descarga de baterías por los paneles solares cuando no hay luz solar, y los daños ocasionados por el efecto de sombra.

3.4 Diagrama de flujo

El funcionamiento de este sistema se presenta en el diagrama de flujo de la figura 3.6, el cual se explica en los siguientes pasos:

1. Se evalúa la disponibilidad del servicio de eléctrico.
2. Si el servicio no está disponible, se hace uso del sistema UPS.
3. Si la energía que proviene del UPS no es suficiente, se pasa al sistema de paneles solares.
4. Si no hay energía solar suficiente y el servicio eléctrico presenta inconvenientes.
5. Se evalúa si las baterías aún tienen carga, para suplir la demanda eléctrica.
6. Se distribuye la energía eléctrica.

*El equipo controlador/inversor realiza esta función, la configuración ideal es trabajar en el orden: ¹SFV – ²Baterías – ³Red eléctrica – ⁴UPS

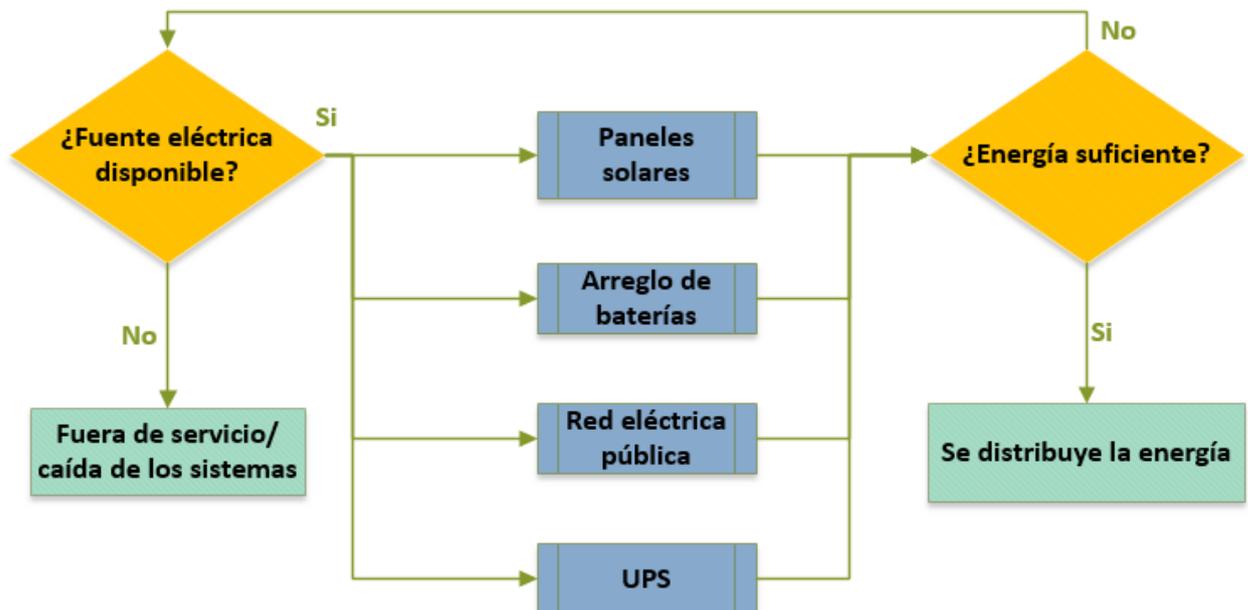


Figura 3.6 Diagrama de flujo del sistema híbrido de energía (Autoría propia)

3.5 Instalación del sistema fotovoltaico

Esta sección trata sobre los aspectos y condiciones físicas del sitio de instalación del sistema fotovoltaico, el mismo que es exhibido en la figura 3.7 donde se observa que los paneles solares fueron colocados sobre el tejado del edificio 16C - Laboratorios de Computación FIEC, con una inclinación de 15° mirando hacia el norte. Mientras que el equipo controlador/inversor y el banco de baterías se posicionaron dentro del cuarto de racks del centro de cómputo por conceptos de distancia, ya que si se sobrepasa lo permitido se puede provocar la pérdida de energía. En cuanto al sistema UPS se considera que permanezca en su puesto actual, como un respaldo adicional; en lo futuro si se implementa un SFV para toda la carga TI, se puede omitir el UPS, para que abastezca otras áreas del edificio. También fue importante tener en cuenta la cantidad de árboles aledaños a la edificación, puesto que como se mencionó en la sección 3.3 el efecto sombra puede afectar al rendimiento del sistema fotovoltaico, sin olvidar que las hojas de los árboles pueden caer sobre los paneles, lo cual también incide en este efecto causando pérdidas significativas en la producción de energía. La retroalimentación sobre el prototipo mostrado se exhibe en una matriz de feedback del anexo 3.

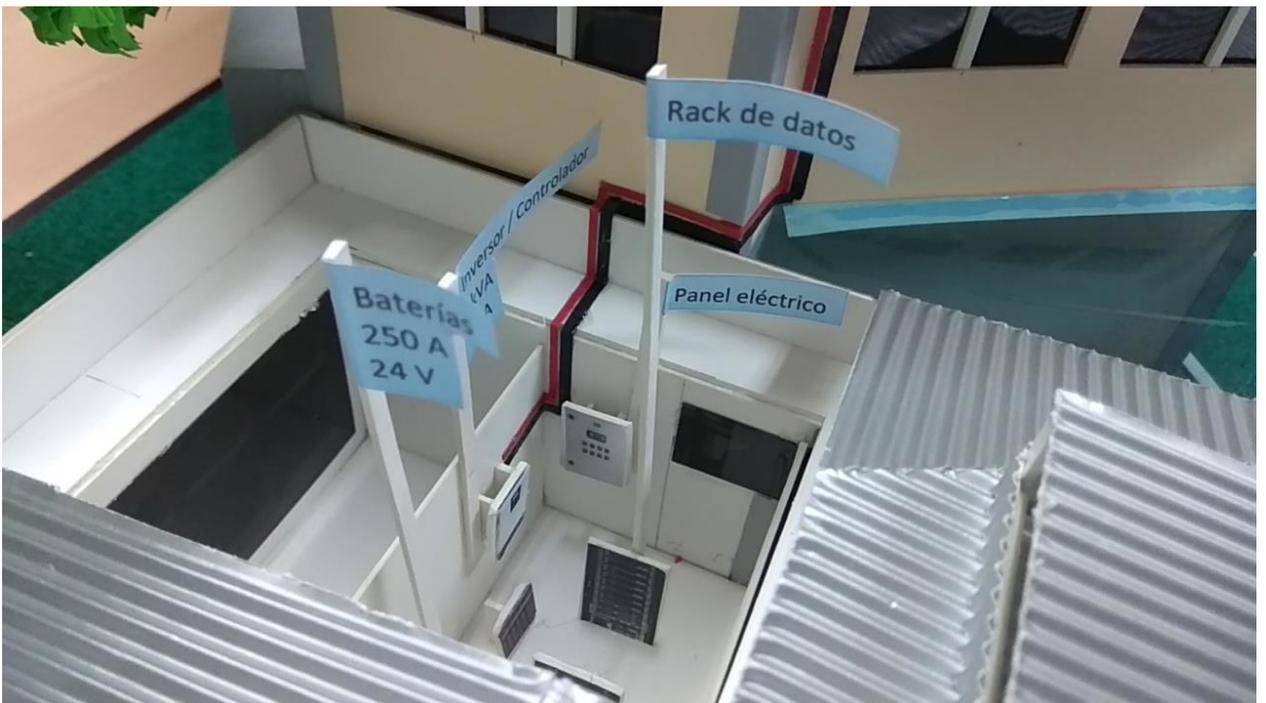
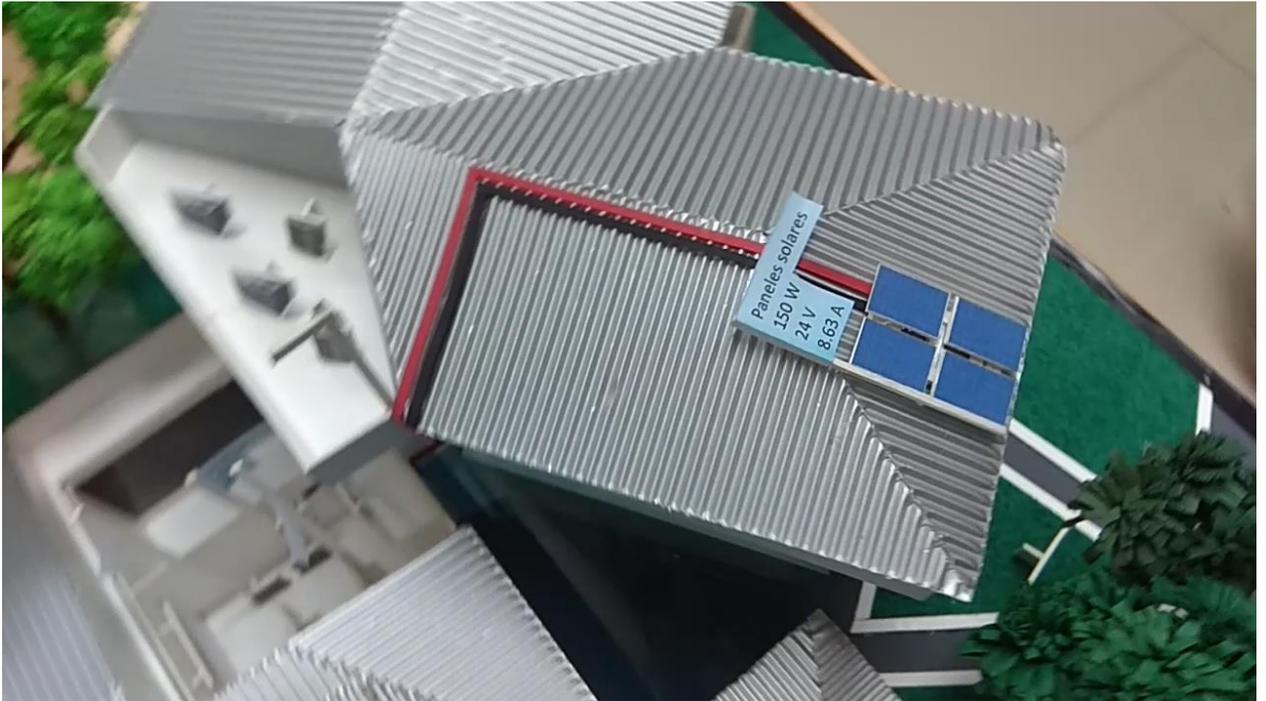


Figura 3.7 Sitio de instalación del SFV – Edif. 16C Laboratorios de computación FIEC

3.6 Análisis de eficiencia

Gran mayoría de los operadores de centros de cómputo desconocen la importancia de la planificación y gestión de la eficiencia energética que representa para sus establecimientos. Cómo se puede llevar el control de algo que no es debidamente administrado, sino es por medio del monitoreo continuo y evaluaciones periódicas que, muchas veces, debido a la inexperiencia de los operadores (en cuanto a la medición del uso eficiente de la energía eléctrica en los centros de cómputo se refiere), no se toma provecho sobre los datos resultantes. Por ello, una vez recopilada la información a través de los procesos de medición se continuó con la interpretación de los datos, la misma que ayudará a sacar las conclusiones del tema en cuestión. Los datos obtenidos revelan el nivel de eficiencia energética que tiene el centro de cómputo actualmente. Un PUE de 2.27 y un DCE de 44% que, según la tabla de eficiencia este tiene una eficiencia energética aceptable (véase tabla 3.5).

PUE	DCE	Nivel de eficiencia
3.0	33%	Muy ineficiente
2.5	40%	Ineficiente
2.0	50%	Aceptable
1.5	67%	Eficiente
1.2	83%	Muy eficiente

Tabla 3.5 Niveles de eficiencia energética

Con respecto a los elementos de carga de iluminación se consideran como una pérdida constante con un 0% de eficiencia, ya que estos solo aportan calor.

Es de suma importancia hablar sobre la energía de emergencia que es suministrada por el sistema de respaldo actual del centro de cómputo de la FIEC, el cual puede abastecer electricidad de manera ininterrumpida por un lapso alrededor de 13 horas. Existe una gran ventaja al usar un sistema fotovoltaico híbrido, ya que este puede almacenar energía suficiente para cubrir la demanda energética cuando existe un déficit de electricidad producida debido a los factores climáticos.

Los resultados de las pruebas de captación de energía solar indican como en ambos escenarios, sin importar que tan nublado o despejado sea el día, los

paneles solares siempre van a generar electricidad. Aunque con las condiciones climáticas fueron distintas, se logró abastecer los equipos de la muestra. En el día parcialmente despejado no fue necesario la utilización de la energía almacenada en las baterías; sin embargo, en el día nublado/lluvioso se hizo uso de la energía de las baterías, con lo cual se cubrió el déficit de potencia.

3.7 Amortización de la inversión del sistema fotovoltaico

Las informaciones proporcionadas por los administradores del centro de cómputo indican que toda la carga TI requiere de una potencia de 132.24kWh diarios, mientras que la densidad total del centro de cómputo es de 300.54kWh diarios. Esto conlleva a tener un gasto por servicios eléctricos alrededor de \$8,798.93 anuales incluyendo impuestos, donde sólo los equipos de TI representan un gasto por casi \$3,861.41. A fin de realizar un análisis completo, se proyecta el dimensionado de un sistema fotovoltaico que cumpla con los requisitos eléctricos la carga crítica del centro de cómputo, ya que por recomendaciones del cliente se definió a estos equipos son aquellos que necesitan mayor disponibilidad de funcionamiento. Se prevé la utilización de paneles solares de 330W y un banco de baterías con 50% de profundidad de descarga máxima. En caso de llevar a cabo una implementación fotovoltaica que cubra la demanda energética de lo antes mencionado, un kit solar trifásico de 144kWh/día 48V bastaría para abastecerlo, véase figura 3.8. Este es uno de los sistemas con mejor amortización dentro del mercado tecnológico solar fotovoltaico, con un tiempo medio de retorno de inversión entre 17 y 18 años, dependiendo de varios factores, entre ellos el coste de la electricidad. No requieren de mantenimiento en ninguno de sus componentes y su tiempo de vida útil supera los 20 años. El coste de adquisición por este kit solar rondaría los \$66,045.45, también se incluyen impuestos e instalación. La tabla 3.6, muestra información sobre el kit solar trifásico.



Figura 3.8 Kit solar conexión a red trifásico de 144kWh/día

90 Paneles Solares 330W Talesun 24V 1960 x 990 x 40 mm
Potencia generada: 144kWh al día de media anual
Garantía de Paneles Solares: 25 años
2 Inversores Trifásico híbrido Infinisolar 10kW 48V
24 Baterías estacionarias Ugltracell OPzS 1400Ah
Energía útil almacenada 33600Wh
6 Estructuras de soporte cubierta metálica o inclinada
200 metros cable rojo RV-K 6mm ² PowerFlex
200 metros negro rojo RV-K 6mm ² PowerFlex
12 conectores Weidmuller PVStick
2 unid. Cable rojo RV-K 50mm ² PowerFlex
2 unid. Cable negro RV-K 50mm ² PowerFlex

Tabla 3.6 Componentes del kit solar conexión a red trifásico 144kWh/día

Considerando que la tarifa eléctrica anual por cada kWh consumido es de aproximadamente \$0.08 centavos y que el tiempo de vida útil de la instalación fotovoltaica es de aproximadamente 25 años, el ROI o tiempo para amortizar la inversión bordearía los 17 años más la variación producida por conceptos de mantenimiento, luego de esto se estima un ahorro alrededor de \$30,891.00 (se multiplican los años restantes de vida útil por los gastos en consumo eléctrico estimado para la carga TI). Sin embargo, como sólo se prevé la implementación de un SFV que cubra la demanda energética de toda la carga TI, el centro de cómputo seguirá teniendo gastos por el consumo eléctrico de

las demás cargas (168.3kWh) por un total de \$4,937.52, durante y después de la amortizar la inversión. Por otro lado, también se procuró calcular un aproximado de cuanta energía podrá producir la instalación fotovoltaica durante su vida útil, para con ello estimar la cantidad de CO₂ que se evitaría producir. Las variaciones climáticas dadas en la ciudad de Guayaquil, durante los 365 días del año que, generalmente están entre los 21°C y los 31°C, y en pocas ocasiones por debajo de los 19°C o por encima de los 33°C. La época invernal tiene una duración de 7,3 meses (de noviembre a junio), mientras que el verano dura 4,7 meses. Siendo desde marzo a mayo los meses más calurosos con una temperatura diaria que sobrepasa los 30°C, y desde junio a agosto la temperatura es de 29°C. Las fechas más despejadas comienzan en mayo y culminan en octubre, y la época más nublada desde octubre a mayo. Tomando como referencia que en el año 2018 hubo 54 días lluviosos y 311 días despejados. Con una exposición de al menos 5 horas al sol, la cantidad promedio de energía generada por el kit solar trifásico sería de 144kWh/día, en invierno se necesitarían 3 horas y en verano 7 horas. Se podría estimar que durante los días despejados parcialmente nublados la cantidad de energía producida llegaría a los 62,697.6kWh y en los días lluviosos 4,665.6kWh. Teniendo en consideración que el desempeño de los paneles solares es del 90% en los primeros 10 años y del 80% durante los últimos 15 años, y si las condiciones climatológicas están a favor la cantidad de energía generada por el sistema fotovoltaico anualmente se aproxima a los 67,363kWh.

Se reduciría la huella ecológica en el campus universitario evitando la emisión de casi un kilo (0.6 kg) de dióxido de carbono por cada kWh generado por la instalación fotovoltaica, según indica la IDAE. Calculando da un total de 40.4 toneladas menos por año, en comparación con las energías originadas del carbón.

3.8 Mantenimiento del sistema fotovoltaico

Con respecto a plan de mantenimiento del sistema fotovoltaico puede distinguirse en dos tipos: preventivo y no preventivo. También se debe considerar el reemplazo de los elementos de la instalación fotovoltaica. Por ejemplo, si se tiene la degradación de un panel solar afectaría a la producción de energía, por lo tanto, el módulo debería ser cambiado. Por ello, es importante dar un mantenimiento preventivo como se explicó anteriormente. Igualmente, con las baterías si se sobrepasa el nivel de descarga permitido la vida útil de estas puede mermar significativamente. Por todo esto, se proyecta un plan de mantenimiento para el cambio o reemplazo de los componentes del SFV cada 8 años y cada 2 años el cambio de conectores. Si el tiempo de vida útil de los paneles solares es 25 años, y el desempeño de estos en los primeros 10 años es del 90%, y de un 80% durante los próximos 15 años, podríamos tener que cambiar el 10% de los paneles durante el tiempo de vida útil del sistema, conllevaría a un gasto adicional de \$1,800.00 durante el tiempo de amortización. En cuanto a las baterías, si su tiempo de vida útil es 20 años, y se estima que dentro de este lapso se deben cambiar al menos el 10% de las baterías, el gasto adicional sería de \$3,060.00. Por último, la sección de cableado y conectores tienen un tiempo de vida útil de 30 años, pero es la más propensa a cambios. Si dentro de este periodo se deben hacer mínimo cambios cada 15 años, el costo de su gestión sería de \$1,020.00.

Componente	Precio unitario	Cantidad	V/Cambio	Subtotal
Reemplazo de panel solar	\$ 200.00	9	1	\$ 1,800.00
Reemplazo de baterías	\$ 510.00	3	1	\$ 1,530.00
Reemplazo de cableado	\$ 100.00	2	2	\$ 400.00
Reemplazo de conectores	\$ 75.00	1	2	\$ 150.00
			Subtotal	\$ 3,880.00
			IVA 12%	\$ 465.60
			Total	\$ 4345.60

Tabla 3.7 Nuevas adquisidores del SFV

Se proyecta un gasto a largo plazo por nuevas adquisiciones del sistema fotovoltaico que asciende a los \$ 3,880.00 (véase tabla 3.7), precio no incluye costos de envío ya que pueden variar acorde al paso del tiempo. Tampoco se

considera el cambio de los equipos inversores. A este le agregamos los costos por mantenimiento preventivo (tienen mayor frecuencia, de 3 a 4 veces por año) y no preventivo (puede darse cada 6 meses) con un valor aproximado de 100\$ por cada año vida útil del sistema, es decir \$2,500.00. Sumando estos valores al total de inversión del sistema fotovoltaico, el tiempo de amortización estimado para recuperar la inversión incrementaría a 17 años, aproximadamente.

3.9 Resultados

La medición de eficiencia energética del centro de cómputo se efectuó durante un periodo de 2 días consecutivos, teniendo como fecha de inicio el 14 de enero de 2019 y fecha de finalización el 15 de enero de 2019. Los datos relativos al rendimiento energético del centro de cómputo de la FIEC, se obtuvieron tomando como referencia las normas y pautas emitidas por la The Green Grid [30]. Las métricas que se tomaron en cuenta dentro del proceso de medición fueron las siguientes:

- La eficacia en el uso de la energía o PUE, es una métrica usada para medir la eficiencia energética del centro de cómputo. Esta indica la relación entre la potencia total de entrada y la potencia total consumida por la carga de TI.
- La eficiencia del centro de cómputo o DCE, es una métrica usada para medir la eficiencia del centro de cómputo, en porcentaje. Esta indica la relación entre la potencia total consumida por la carga de TI y la potencia total de entrada.

Sin embargo, existen otras métricas que se pueden considerar en la medición de eficiencia del centro de cómputo, tales como: DCE, RTI, RCI, entre otras. Entre las cuales, las más comunes son las que se utilizaron en este proceso. A fin de consumir un correcto análisis del uso eficiente de la energía eléctrica, se utilizó un recurso web [31] para la medición de eficiencia energética del centro de cómputo, la cual requirió de información sobre la capacidad de trabajo de la carga TI y la densidad total del establecimiento, el costo por cada kWh consumido y la región. Cabe mencionar que el promedio PUE considerado en

esta medición es anual. Los datos correspondientes a la medición general de eficiencia se muestran en la siguiente tabla.

Intensidad del CDP kWh/día	132
Total Carga TI kWh/día	300
Precio kWh	\$0.08
PUE	2.27
DCE	44%
Impacto ambiental anual (toneladas)	1,590

Tabla 3.8 Datos de eficiencia del centro de cómputo

En la sección anterior se expuso un análisis de los resultados. Aquí, se presentan los resultados de las pruebas ejecutadas, a través de la solución prevista en este documento. En la tabla 3.9, se exhibe un resumen técnico con los resultados obtenidos en las diferentes horas de medición de energía captada durante un día parcialmente despejado con 28°C, asimismo en la tabla 3.10 pero esta vez con un día parcialmente nublado y lluvioso a 24°C.

Hora	Potencia generada por paneles W	Potencia demandada W	Potencia tomada de baterías W
10:15 AM	1840	616	0
10:30 AM	2010	628	0
10:41 AM	2130	649	0
10:50 AM	2290	574	0
10:55 AM	2210	4024	0
11:10 AM	2240	4154	0
11:12 AM	2270	952	0
11:15 AM	2260	703	0
12:00 PM	3400	597	0

Tabla 3.9 Energía producida en un día parcialmente despejado

Hora	Potencia generada por paneles W	Potencia demandada W	Potencia tomada de baterías W
9:00 AM	0	138	0
9:50 AM	101	172	0
10:15 AM	305	280	0
10:45 AM	510	319	0
11:00 AM	768	291	0
11:15 AM	874	273	0
11:30 AM	418	266	0
11:40 AM	365	288	0
11:58 AM	460	1422	893
12:00 PM	510	1413	903
12:15 PM	650	1407	697
12:30 PM	719	291	0
12:45 PM	617	295	0
1:00 PM	1112	228	0
1:05 PM	1205	1637	316
1:10 PM	1824	1711	0
1:20 PM	2253	1788	0
1:30 PM	558	339	0

Tabla 3.10 Energía producida en un día nublado/lluvioso

CAPÍTULO 4

4. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS

4.1 Plan de implementación

La implementación de la solución tomó alrededor de 73 días, sin incluir fines de semana ni días festivos del calendario ecuatoriano. En la tabla 4.1 se muestra cada una de las actividades y tareas realizadas durante este proceso.

Cabe mencionar que algunos de los hitos descritos en la tabla 4.1 tomaron más de los días previstos para su ejecución, esto por diversos factores tales como el tiempo de llegada de los equipos adquiridos fuera del país, incumplimiento del contrato de compra, indisposición de los técnicos, adversidades climatológicas, entre otros. El plan de implementación se dividió en 5 etapas que se listan, a continuación:

- Etapa 1, levantamiento de la información: reuniones con cliente y toma de decisiones.
- Etapa 2, dimensionamiento: planificación y proyección de los recursos usados (módulos solares, baterías, cableado, etc.)
- Etapa 3, adquisición de equipos: cotización y compra de equipos (el tiempo de llegada de los equipos puede variar dependiendo del fabricante o vendedor, y del lugar de origen, entre 5 a 15 días, o más)
- Etapa 4, instalación del SFV: instalación del sistema fotovoltaico (se necesitó de 5 diarias).
- Etapa 5, pruebas de la solución: testeo, análisis de datos, y entrega de documentación técnica.

El personal involucrado en la implementación de la solución constó de 4 personas, entre ellos técnicos y ayudantes; donde uno de estos tuvo una participación parcial en casos fortuitos. Una gran parte de las tareas programadas fueron identificadas como tareas críticas, ya que la tardanza en su ejecución provocaría la ralentización de los demás hitos. Por ejemplo: reuniones con el cliente, y la llegada de equipos.

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pred.	Nombres de los recursos
	Implementación del sistema fotovoltaico híbrido	73 días	lun 10/22/18	lun 2/04/19		
	Etapa 1 - Levantamiento de la información	12 días	lun 10/22/18	lun 11/7/18		
1	Preparación previa a reunión con el cliente	5 días	lun 10/22/18	vie 10/26/18		H. Parrales, C. Sánchez
2	Reunión con cliente	3 días	lun 10/29/18	mar 10/31/18	1	
3	Aprobación de la solución y retroalimentación del cliente	3 días	lun 11/05/18	mie 11/7/18	2	H. Parrales, C. Sánchez
	Etapa 2 - Dimensionamiento	10 días	jue 11/8/18	mie 11/21/18		
4	Dimensionamiento del sistema eléctrico	3 días	jue 11/08/18	lun 11/12/18	3	H. Parrales, C. Sánchez
5	Dimensionamiento del SFV	3 días	mar 11/13/18	jue 11/15/18	4	H. Parrales, C. Sánchez
6	Medición y ubicación de componentes del SFV	4 días	vie 11/16/18	mié 11/21/18	5	H. Parrales, C. Sánchez, M. Zamora
	Etapa 3 - Adquisición de equipos	26 días	jue 11/22/18	lun 1/07/19		
7	Cotización de equipos y componentes del SFV	8 días	jue 11/22/18	lun 12/03/18	6	H. Parrales, C. Sánchez
8	Adquisición de equipos y componentes del SFV	6 días	mar 12/04/18	mar 12/11/18	7	H. Parrales, C. Sánchez
9	Convenio por adquisición de equipos y componentes	6 días	mié 12/12/18	mié 12/19/18	8	H. Parrales, C. Sánchez
10	Recepción de equipos y componentes del SFV	6 días	jue 12/20/18	lun 1/07/19	9	H. Parrales, C. Sánchez
	Etapa 4 - Instalación del SFV	11 días	mar 1/08/19	mar 1/22/19		
11	Instalación de estructuras de soporte	3 días	mar 1/08/19	jue 1/10/19	10	H. Parrales, R. Villacrés, M. Zamora
12	Instalación de paneles solares	3 día	vie 1/11/19	mar 1/15/19	11	C. Sánchez, R. Villacrés, M. Zamora
13	Instalación del cableado	2 días	mié 1/16/19	jue 1/17/19	12	H. Parrales, C. Sánchez, M. Zamora
14	Instalación del banco de baterías	2 días	vie 1/18/19	lun 1/21/19	13	C. Sánchez, R. Villacrés, M. Zamora
15	Instalación del inversor/controlador	1 días	mar 1/22/19	mar 1/22/19	14	H. Parrales, R. Villacrés, M. Zamora
	Etapa 5 - Pruebas de la solución	14 días	mié 1/23/19	lun 2/04/19		
16	Puesta en marcha del SFV	1 días	mié 1/23/19	mié 1/23/19	11 – 15	H. Parrales, C. Sánchez, M. Zamora
17	Recopilación de datos e información	6 días	jue 1/24/19	jue 1/31/19	16	H. Parrales, C. Sánchez
18	Análisis de datos e información	6 días	vie 2/01/19	vie 2/08/19	17	H. Parrales, C. Sánchez
19	Entrega de documentación	1 días	lun 2/04/19	lun 2/04/19	17-18	H. Parrales, C. Sánchez

Tabla 4.1 Plan de implementación de la solución

4.2 Plan de costos

Las proformas previstas en esta sección sólo sirven como valores referenciales, ya que la instalación fotovoltaica no será permanente, es decir que los costos de estos equipos no afectarían a la economía del centro de cómputo. Pero se consideró de gran importancia tener una idea de cuánto puede costar la implementación del SFV para cubrir la demanda de ciertos equipos de TI, como se mencionó al inicio de este capítulo. Por ello, el siguiente paso fue cotizar el precio de cada equipo de manera individual a varios fabricantes, véase tabla 4.2.

Cotización costo de equipos				
Cantidad	Fabricante	Descripción	P. Unitario	Subtotal
4	Renogy	Panel solar 160W 12V Policristalino	\$174.00	\$696.00
3	EGE	Panel solar 200W 24V Policristalino	\$200.00	\$600.00
4	BlueSun	Panel solar 170W 12V Policristalino	\$190.00	\$760.00
1	Must	Inversor solar baja frec. PV3000 MPK 2KW	\$837.00	\$837.00
1	Victron	Blue solar MPPT 45A/150V	\$525.30	\$525.30
1	Morningstar	MPPT 45 ^a	\$728.32	\$728.32
1	TechnoSun	Cableado y otros accesorios	\$350.00	\$350.00
1	KHT915	Estructura de soporte de teja	\$86.64	\$86.64
1	Hoppecke	Arreglo de 7 Baterías estacionarias 735Ah OPzS 490	\$3,331.00	\$3,331.00
1	Tudor-Exide	Arreglo de Baterías OPzS 24V 765Ah Transparente	\$ 3,269.00	\$3,269.00

Tabla 4.2 Cotización de equipos individuales

También, se consideró la cotización de un kit solar completo (véase figura 4.1), con el fin de saber cuál era la mejor opción costo-beneficio, véase tabla 4.3.

Kit Solar Fotovoltaico Power			
Capacidad	Componentes	Cantidad	Precio
2kWh/día	Placa solar 200Wp 12V Policristalino SHS	3	\$ 2,274.50
	Baterías Gel Ultracell UCG-575-2 2V 575Ah	6	
	Regulador MPPT 30A 12/24V Must Solar	1	
	Inversor + cargador 800W 12V Must Solar	1	
	Sección de cableado RV-K y estructura de montaje KH95	1	
	Conectores Weidmuller PVStick	1	

Tabla 4.3 Componentes del Kit Solar Fotovoltaico 2000Wh/día



Figura 4.1 Kit Solar Fotovoltaico (AutoSolar)

Este kit solar es ideal para consumos medios de hasta 2000Wh/día, cuenta con 3 paneles solares de 200W, un equipo controlador MPPT de 30A y un inversor de 800W, y sus baterías de más de 2400 ciclos soportan hasta un 30% de profundidad de descarga.

Costos de equipos			
Cantidad	Descripción	P. Unitario	Subtotal
1	Controlador/Inversor 2KW MPPT	\$1,800.00	\$1,800.00
1	7 Baterías Hoppecke 765Ah 24V OPzS	\$3,000.00	\$3,000.00
4	Paneles solares 150W 36Cells 12V	\$165.00	\$660.00
1	Conectores Multicontact	\$25.00	\$25.00
1	Cable conexión para Controlador/Inversor	\$20.00	\$20.00
1	Cable solar 20m 16mm2	\$50.00	\$50.00
1	Estructuras de soporte de tejado	\$80.75	\$80.75
Total			\$5,635.75

Tabla 4.4 Costos de equipos usados en la instalación fotovoltaica

La tabla 4.4, muestra los valores comerciales de los equipos usados en la instalación fotovoltaica que sirvieron para el suministro provisional de energía.

Si bien es cierto, los costos de estos dispositivos son mayores a los del kit solar mencionados en la tabla 4.3, esto es debido a que cuentan con mejores capacidades de funcionamiento. Los valores mencionados en la tabla anterior incluyen IVA y los costos por transportación o envío. Luego de las proformas realizadas se puede decir que el monto total de inversión puede variar dependiendo si la adquisición de los equipos se realiza dentro o fuera del país.



Figura 4.2 Inversor solar de baja frecuencia – PV3000 MPK Series – 2KW

La figura 4.2, muestra un dispositivo multifuncional que incluye características de inversor, controlador de carga solar MPPT, cargador solar y cargador de baterías. A demás, posee una pantalla LCD y botones que facilitan su uso.

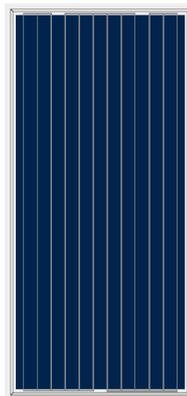


Figura 4.3 Módulo solar Policristalino de 36 celdas 150W (BlueSun)

Los paneles solares policristalinos tienen una gran ventaja sobre los monocristalinos, ya que al ser usados en zonas con climas cálidos no presentan problemas ante el sobrecalentamiento. Se puede diferenciar

claramente entre ambos tipos de paneles solares debido al color de sus celdas, azul para los policristalinos y negro para los monocristalinos, véase figura 4.3.



Figura 4.4 Cable solar 4mm² y conectores MC4

La figura anterior muestra el cable solar usado en la instalación fotovoltaica. También, el tipo de conector MC4. En la figura 4.5, se observa uno de los tipos de estructura de soporte utilizadas para el montaje de las placas solares.



Figura 4.5 Estructura de soporte de tejado

Por último, se muestra el banco de baterías usado en la instalación fotovoltaica de prueba, consta de 7 baterías estacionarias OPzS marca Hoppecke de 765Ah 24V, véase figura 4.6.



Figura 4.6 Banco de baterías OPzS 765Ah 24V

*El anexo 5 brinda información técnica de los equipos mencionados en la tabla 4.4

Los costos por mano de obra, normalmente, se cobran por cada m² de la instalación, según previa investigación de mercado. Sin embargo, estos precios pueden variar dependiendo de la magnitud del proyecto, la dificultad, región, entre otros; al cual se lo puede dividir en: costos de instalación y costos operacionales. En definitiva, se estima que el costo total de inversión de la instalación fotovoltaica puede ascender a los \$6,135.75, incluyendo equipos y la gestión de implementación.

CONCLUSIONES

Luego del análisis, se concluye que es posible la eliminación o sustitución del sistema de respaldo de energía convencional por uno eco amigable, gracias a la participación de la energía solar y la tecnología fotovoltaica. El banco de baterías del SFV de prueba almacenó energía suficiente cubrir la demanda energética del centro de cómputo por más tiempo. Demostrando una ventaja ante el sistema de respaldo actual que normalmente suministra energía de emergencia durante un lapso de 13 horas.

El sistema fotovoltaico de prueba puede generar en promedio 116.95kWh/mes de electricidad energía suficiente para el abastecimiento eléctrico de la muestra de equipos de carga TI seleccionados, los cuales requieren mínimo de 49.53kWh/mes. A pesar de las condiciones climáticas se aseguró el funcionamiento de los equipos TI utilizando la energía almacenada en las baterías para cubrir el déficit de potencia.

Se encontró que el centro de cómputo de la FIEC tiene un consumo eléctrico diario de aproximadamente 300.54kWh diarios y una tarifa eléctrica de \$8,798.93 anuales. En caso de darse la implementación del SFV para abastecer a la carga TI se proyecta que 17 años es el tiempo promedio para recuperar la inversión, y después de esto se puede llegar a ahorrar más de \$30,890.00 en gastos de electricidad, tomando en cuenta la vida útil de los paneles solares en su óptimo rendimiento.

Con la implementación del sistema fotovoltaico para el suministro eléctrico del centro de cómputo de la FIEC, se puede llegar reducir hasta 40.4 toneladas de CO₂ emitidas anualmente en el campus universitario.

RECOMENDACIONES

Este proyecto puede servir como base para futuras implementaciones fotovoltaicas dentro y fuera del campus politécnico. Cuya presentación a clientes interesados en el tema sirva de intensivo para adoptar este tipo de soluciones en sus establecimientos.

Se sugiere realizar un análisis de eficiencia eléctrica del centro de cómputo mínimo una vez por año. Usando la métrica PUE con un promedio o frecuencia de tiempo anual, para facilitar la relación del consumo eléctrico del centro de cómputo dentro de su vida útil.

Es importante considerar la temperatura exterior y los cambios o configuraciones que el usuario pueda hacer respecto a la infraestructura física del centro de cómputo, ya que estos pueden alterar los niveles de eficiencia energética.

En caso de implementarse un sistema fotovoltaico para la carga TI se podría podar los árboles cercanos al edificio donde se dé su instalación, para así aprovechar al máximo la energía irradiada por el sol, evitando que los paneles solares se sombreen y que hojas caigan sobre los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NASA, «Vanguard Satellite,» NASA History, 17 marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/content/vanguard-satellite-1958>
- [2] RENOVETEC, «Energía Fotovoltaica, Historia de la energía solar,» *Energiza*, pp. 12-14, 2013.
- [3] IRENA, «IRENA, Resource, Capacity and Generation,» 29 octubre 2018. [En línea]. Available: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=19>.
- [4] IRENA, «Country Rankings,» octubre 2018. [En línea]. Available: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=18>
- [5] «Diario Ecuador Inmediato,» [En línea]. Available: http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=188440. [Último acceso: octubre 2018]
- [6] «Ecologistas en acción,» 21 junio 2007. [En línea]. Available: <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=10057>
- [7] «Plantas y Generadores de Luz,» 4 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://plantasygeneradoresdeluz.mx/2017/08/04/ventajas-y-desventajas-de-las-plantas-de-luz/>
- [8] «Auto Solar,» 19 abril 2015. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/ventajas-e-inconvenientes-de-los-generadores-diesel-y-gasolina>
- [9] K. Silvera, «Diario expreso,» [En línea]. Available: <https://www.expreso.ec/quayaquil/apagon-quayaquil-electricidad-protestas-defensoriadelpueblo-BX2154627>
- [10] «FIEC ESPOL, Infraestructura,» [En línea]. Available: <https://www.fiec.espol.edu.ec/es/infraestructura>
- [11] I. N. d. E. E. y. E. Renovables, «INER,» diciembre 2014. [En línea]. Available: https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf

- [12] «Schneider Electric,» 20 junio 2017. [En línea]. Available: <https://blogspanol.schneider-electric.com/gestion-de-la-energia/2017/06/20/los-5-problemas-electricos-mas-comunes/>
- [13] «Institute of design at Standford,» [En línea]. Available: <https://dschool.stanford.edu/programs/teaching-learning>
- [14] «Revista Tecnica de Medio Ambiente,» 15 enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.retema.es/noticia/la-energia-solar-fotovoltaica-costara-la-mitad-en-2020-dXnEB>
- [15] «Diario El Universo,» 14 enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/01/14/nota/6564858/nuevo-pliego-tarifas-electricas-ya-constan-rebajas>
- [16] « Paneles solares Chile,» [En línea]. Available: <https://www.panelessolares.cl/blog/paneles-solares/en-cuanto-tiempo-se-recupera-la-inversion-de-paneles-solares>
- [17] «Comercializadora Ecoheat S.A.,» [En línea]. Available: <https://ecoheat.com.mx/la-vida-util-de-un-panel-solar-es/>
- [18] «Desigenia,» [En línea]. Available: <http://desigenia.com/eficiencia-energetica-con-energia-solar/>
- [19] «Psicopico,» [En línea]. Available: <https://psicopico.com/los-seis-sombreros-pensar-edward-bono/>
- [20] M. Office, «Microsoft Office 365. Microsoft Visio.,» [En línea]. Available: <https://products.office.com/es/Visio/flowchart-software>
- [21] «La guia solar,» [En línea]. Available: <http://www.laguiasolar.com/que-es-una-instalacion-fotovoltaica-on-grid/>
- [22] «Stulz. Free Cooling,» [En línea]. Available: <https://www.stulz.com.mx/es/seccion-de-noticias/blog/free-cooling-directo-e-indirecto-794/>
- [23] «Stulz. Enfriador de centros datos para interiores CyberCool,» [En línea]. Available: <https://www.stulz.com.mx/es/cybercool-csi/>
- [24] «CONELEC. Atlas Solar del Ecuador,» [En línea]. Available: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>

- [25] «Google Earth» [En línea]. Available: <https://earth.google.com/web/>
- [26] «DamiaSolar, Conexion de paneles solares,» [En línea]. Available: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo_1
- [27] «PVLabDER – CIEMAT, Dimensionado de sistemas fotovoltaicos,» [En línea]. Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45302/componente45301.pdf
- [28] « AutoSolar, ¿Qué es un regulador MPPT?,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-mppt>
- [29] «MonoSolar. Calcular sección de los cables de un kit solar con regulador MPPT,» [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/blog/calcular-seccion-de-los-cables-de-un-kit-solar-con-regulador-mppt/>
- [30] «Grupo Cofitel. Data Center: El Estándar TIA 942,» [En línea]. Available: <https://www.c3comunicaciones.es/data-center-el-estandar-tia-942/>
- [31] «42U. Medición de eficiencia energética.» [En línea]. Available: <https://www.42u.com/measurement/pue-dcie.htm>

ANEXOS

Anexo 1



Anexo 1.1 Mapa de empatía del cliente

Anexo 2



Anexo 2.1 Matriz importancia dificultad

Anexo 3

Qué le gustó

- Es una solución eco amigable.
- Realismo en el diseño de la maqueta.
- El etiquetado de los equipos y sus especificaciones.
- La posibilidad de implementación.
- La ubicación de los paneles.
- La representación de la solución en la maqueta.
- La creatividad para hacer la maqueta.

Qué no le gustó

- La dificultad de implementación para todo el centro de datos.
- Demasiados árboles aledaños al sitio de instalación.
- El espacio en la maqueta para representar la ubicación detallada de los equipos.
- El controlador y las baterías en el cuarto de racks.
- Demasiado tiempo para amortizar la inversión.

Preguntas

- ¿Cuál es el costo total de la solución?
- ¿Con qué frecuencia se debe dar mantenimiento a los paneles?
- ¿Cómo afectaría las sombras en los paneles solares?
- ¿Qué pasaría si fallan las baterías?
- ¿Dónde se situaría el SFV si se decide la implementación del mismo?
- ¿Cuál es el tiempo de retorno de inversión?
- ¿Cuánto cuesta el mantenimiento del sistema fotovoltaico?
- ¿Qué pasaría si no hay suficiente luz solar y las baterías no tienen energía suficiente?

Sugerencias

- Dar mayor revestimiento a los árboles de la maqueta.
- Agregar un poco más de detalles en la maqueta.
- Mostrar el análisis de implementación para la prueba.
- Buscar un lugar estratégico para la instalación fotovoltaica.

Anexo 3.1 Matriz de feedback de cliente para el prototipo de solución

Anexo 4

Equipo	Marca	AC Power	Consumo por Unidad (W)
CPU	COMPAQ	AC 100-240 V, 100 W	100
CPU	HP i7	AC 100-240 V, 110 W	110
CPU - SERVIDOR	SUPER POWER	AC 100-240 V, 22 W	22
CPU - SERVIDOR	XTRATECH i3	AC 100-240 V, 22 W	22
SERVIDOR	CLON	AC 100-240 V, 22 W	22
		Subtotal (W)	276
		Horas de consumo	6
		Total (Wh/día)	1656

Anexo 4.1 Consumo diario – muestra de carga crítica

Anexo 5

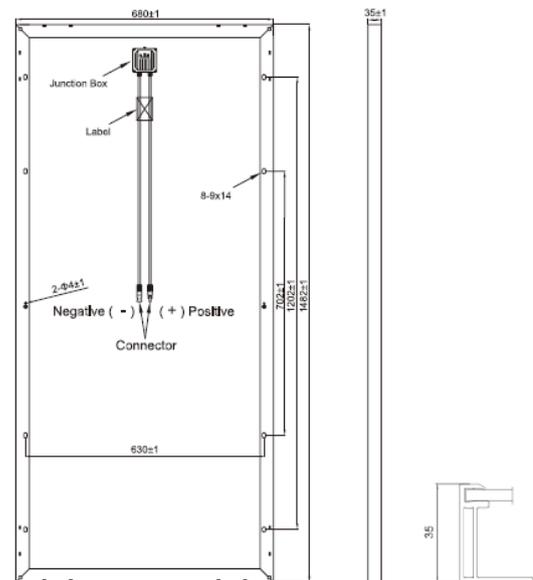
Mechanical Parameters

Cell (mm)	Poly 156x156
Weight (kg)	12 (approx)
Glass Thickness	4/3.2mm
Dimensions (LxWxH) (mm)	1482x680x35
Cable Cross Section Size (mm ²)	4
No. of Cells and Connections	36(4x9)
Junction Box	IP67, 3 diodes
Connector	MC4 Compatible
Packaging Configuration	64 Per Pallet

Working Conditions

Maximum System Voltage	DC 1000V (IEC)
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximum Series Fuse	15A
Maximum Static Load, Front (e.g., snow and wind)	5400Pa (112 lb/ft ²)
Maximum Static Load, Back (e.g., wind)	2400Pa (50 lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

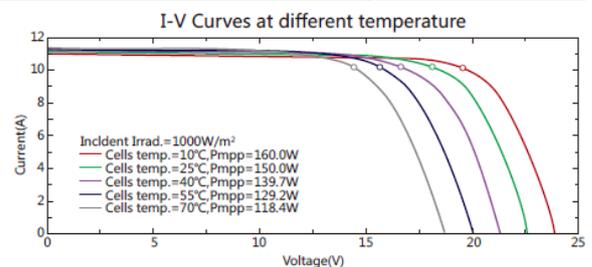
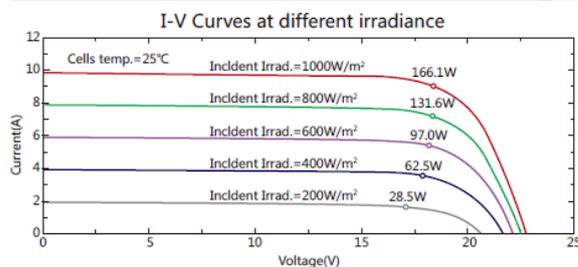
Engineering Drawings



Electrical Parameters

Module	BSM150P-36	BSM155P-36	BSM160P-36	BSM165P-36	BSM170P-36
Rated Maximum Power at STC (W)	150	155	160	165	170
Open Circuit Voltage (Voc/V)	22.4	22.5	22.6	22.7	22.8
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9
Short Circuit Current (Isc/A)	9.05	9.28	9.52	9.71	9.93
Maximum Power Current (Imp/A)	8.63	8.81	9.04	9.27	9.50
Module Efficiency [%]	14.88	15.38	15.87	16.37	16.87
Power Tolerance (W)			-0 ~ +5W		
Temperature Coefficient of Isc (αIsc)			+0.059%/°C		
Temperature Coefficient of Voc (βVoc)			-0.330%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)			-0.410%/°C		
STC	Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5				

I-V Curve



Anexo 5.1 Ficha técnica del panel solar BlueSun BMS1709-36

Specification

MODEL		PV30-1KW MPK		PV30-1.5KW MPK		PV30-2KW MPK		PV30-3KW MPK		PV30-4KW MPK		PV30-5KW MPK		PV30-6KW MPK		
Nominal Battery System Voltage		12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	24VDC/48VDC	24VDC/48VDC	24VDC/48VDC	24VDC/48VDC	24VDC/48VDC	24VDC/48VDC	
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1KW		1.5KW		2KW		3KW		4KW		5KW		6KW		
	Burge Rating (20ms)	3KW		4.5KW		6KW		9KW		12KW		15KW		18KW		
	Capable Of Starting Electric Motor	1HP		1HP		1HP		2HP		2HP		3HP		3HP		
	Waveform	Pure sine wave/ same as Input (bypass mode)										Pure sine wave/ same as Input (bypass mode)				
	Nominal Output Voltage RMS	100V/110V/120VAC 220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)										100V/110V/120VAC 220V/230V/240VAC				
	Output Frequency	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz										50Hz/60Hz +/-0.3 Hz				
	Inverter Efficiency(Peak)	>88%										>88%				
	Line Mode Efficiency	>95%										>95%				
Power Factor	0.8										1.0					
Typical Transfer Time	10ms(max)										10ms(max)					
AC INPUT	Voltage	230VAC										230VAC				
	Selectable Voltage Range	96~132VAC 155~280VAC(For Personal Computers)										96~132VAC/155~280VAC(For Personal Computers)				
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing) 40-80Hz										50Hz/60Hz (Auto sensing) 40-80Hz					
BATTERY	Minimum Start Voltage	10.0VDC /10.5VDC for12VDC mode (*2 for 24VDC,)										20.0VDC~21.0VDC /40.0VDC~42.0VDC				
	Low Battery Alarm	10.5VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)										21.0VDC +/-0.6V /42.0VDC +/-1.2V				
	Low Battery Cutoff	10.0VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)										20.0VDC +/-0.6V /40.0VDC +/-1.2V				
	High Voltage Alarm	16.0VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)										32.0VDC +/-0.6V /64.0VDC +/-1.2V				
	High Battery Voltage Recover	15.5VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)										31.0VDC +/-0.6V / 62.0VDC +/-1.2V				
	Idle Consumption-Search Mode	<25W when power saver on										<50W when power saver on				
AC CHARGER	Output Voltage	Depends on battery type										Depends on battery type				
	Charger AC Input Breaker Rating	10A		30A		30A		30A		40A		40A				
	Overcharge Protection S.D.	15.7VDC for 12VDC mode (*2 for 24VDC,)										31.4VDC/62.8VDC				
Maximum Charge Current	35A	20A	45A	25A	65A	35A	75A	45A	65A	35A	70A	40A	75A	50A		
BYPASS & PROTECTION	Input Voltage Waveform	Sine wave (grid or generator)										Sine wave (grid or generator)				
	Nominal Input Frequency	50Hz or 60Hz										50Hz or 60Hz				
	Overload Protection (BMPB Load)	Circuit breaker										Circuit breaker				
	Output Short Circuit Protection	Circuit breaker										Circuit breaker				
	Bypass Breaker Rating	10A		15A		30A		30A		40A		40A				
	Max Bypass Current	30Amp										40Amp				
SOLAR CHARGER	Maximum PV Array Power	600W	1200W	600W	1200W	600W	1200W	600W	1200W	1600W	3200W	1600W	3200W	1600W	3200W	
	Maximum PV Charge Current	40A										60A				
	DC Voltage	12V/24V atuo work										24V/48V atuo work				
	MPPT Range @ Operating Voltage	16~100VDC										32~145VDC @ 24V / 64~145VDC @ 48V				
	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	100VDC										145VDC				
	Maximum Efficiency	>90%										>98%				
	Standby Power Consumption	<2W										<2W				
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Mounting	Wall mount										Wall mount				
	Dimensions (W"H"D)	423"247"197mm										597x247x197mm				
	Net Weight (Solar CHG) kg	18.5	18.4	19.5	19.4	23.5	32.2	28.7	27	41.3	39.4	50.4	48.8	51.8	49.2	
	Shipping Dimensions(W"H"D)	570"355"300mm										743"372"312mm				
	Shipping Weight (Solar CHG) kg	21.5	21.4	22.4	22.5	25.8	25.6	31.2	29.6	44.7	42.8	54	52.4	55.7	53.1	
OTHER	Operation Temperature Range	0°C to 40°C										0°C to 40°C				
	Storage Temperature	-15°C to 60°C										-15°C to 60°C				
	Audible Noise	60dB MAX										60dB MAX				
	Display	LED+LCD										LED+LCD				
Loading(20GP/40GP/40HQ)	460pcs / 920pcs / 1060pcs										320pcs / 640pcs / 750pcs					

* Product specifications are subject to change without further notice.

Anexo 5.2 Ficha técnica del inversor solar de baja frecuencia PV3000 MPK