



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**REDESIGN OF THE POWER SUPPLY FOR BP
WIND ENERGY'S METEOROLOGICAL TOWER IN
WIND FARM**

Autor: Iñigo Sangróniz Ojer

Director: Dr. J. Lee

Madrid
Agosto 2018

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Iñigo Sangróniz Ojer

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: REDESIGN OF THE POWER SUPPLY FOR BP WIND ENERGY'S METEOROLOGICAL TOWER IN WIND FARM, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 28 de Agosto de 2018

ACEPTA

Fdo: Iñigo Sangróniz Ojer

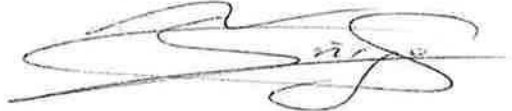


Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**Redesign of the Power Supply for BP Wind Energy's
Meteorological Tower in Wind Farm**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 4º es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: **Iñigo Sangróniz Ojer**

Fecha: 28/08/2018



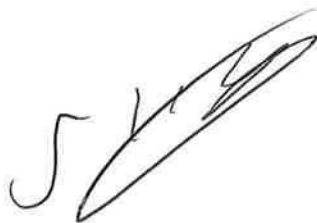
Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Dr. Jack C. Lee

Fecha: 28/08/2018

V.B.



To my mother and brother.

I would never have accomplished this without your love and support.

To my father.

You are always my inspiration in my life.

To my friends.

All this has been easier thanks to your friendship during these four years.

*I would also like to thank to all my team partners from Austin, for all their hard work and
dedication along this year.*

Redesign of the Power Supply for BP Wind Energy's Meteorological Tower in Wind Farm

Autor: Iñigo Sangróniz Ojer

Director: Dr. J. Lee

Entidad Colaboradora: University of Texas at Austin

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

El objetivo principal del presente proyecto es rediseñar y construir un sistema de alimentación de reserva para una torre meteorológica (MET) ubicada en un parque eólico de nuestro cliente, British Petroleum. En este documento se presenta la información detallada del diseño para construir satisfactoriamente una copia del prototipo que hemos llevado a cabo durante la realización del proyecto. Los requisitos de diseño demandan un sistema seguro, fiable y autónomo que sea capaz de proporcionar 3 voltajes diferentes (24V, 12V y 5V), durante un tiempo mayor de 48h.

Las torres meteorológicas son esenciales para los parques eólicos, ya que se utilizan para evaluar los recursos eólicos mediante la recopilación de datos de los sensores de temperatura y presión, así como los anemómetros y las paletas de velocidad del viento [1]. Las torres MET requieren una fuente de alimentación fiable y un sistema de respaldo independiente para recopilar estos datos de manera confiable. El diseño actual, del que se hablará posteriormente en mayor detalle, muestra diversos fallos porque la única forma de proporcionar energía a los equipos de la torre MET es a través de la batería de 12 V y su cargador. Esto permite que el sistema continúe funcionando en el caso de un corte de energía principal. Sin embargo, si el cargador de la batería falla, la batería se descargará y no habrá forma de proporcionar energía a la torre MET hasta que se cambie el cargador.

El diseño propuesto incluye una fuente de alimentación primaria y dos fuentes de alimentación redundantes en caso de fallo de la fuente primaria. La fuente primaria procede directamente de la salida de la turbina más cercana a la torre meteorológica, que se conecta a un transformador rectificador 120V AC/ 15V DC. Como fuente secundaria se propone un panel solar conectado a una batería de 12V 18Ah a través de un MPPT (Maximum Power Point Tracker). Finalmente, en caso de que la batería conectada al panel se agote y las condiciones

climáticas no permitan al panel solar alimentar la carga, se pasará a la tercera fuente de alimentación. Este último suministro consiste en una batería de 12V 108Ah, que permite que la torre meteorológica pueda funcionar un mínimo de 48 horas si la fuente primaria falla.

Para poder controlar los distintos suministros, estos se conectan a un ATS (Automatic Transfer Switch) que permite cambiar de una fuente a otra de forma automática. Para suministrar los distintos voltajes se dispone de distintos convertidores buck y boost que permiten aumentar o reducir el voltaje de los 12V de la batería al necesario (24V, 12V, 5V). Para un mayor control sobre el sistema se decide instalar un equipo de telemetría para medir la corriente y tensión que llegan a cada una de las cargas. Por último, instalamos los aparatos de protección necesarios tales como fusibles e interruptores automáticos.

2. Diseño

2.1. Diseño Inicial

El sistema del que dispone inicialmente nuestro cliente BP consta de una fuente de alimentación conectada en serie con un cargador que conecta a una batería, de forma que, una vez que falla la fuente, el sistema tiene electricidad hasta que se agota la batería. Este diseño presenta varios problemas. Uno de ellos es la ineficiencia del sistema al tener que cargar constantemente la batería, lo que conlleva unas pérdidas considerables. También, el hecho de tener conectada constantemente la batería, condena drásticamente su vida útil, reduciéndola notablemente. Otro factor negativo de este diseño es la múltiple dependencia en cada uno de los componentes clave, cargador y batería. En caso de fallar alguno de estos, todo el sistema fallaría por completo. Por último, el tiempo alimentación de reserva en caso del fallo de la fuente de alimentación primaria, depende únicamente de la batería. Por todo esto, nuestro diseño propone mejoras y la incorporación de nuevos componentes para resolver o reducir el impacto cada uno de estos problemas.

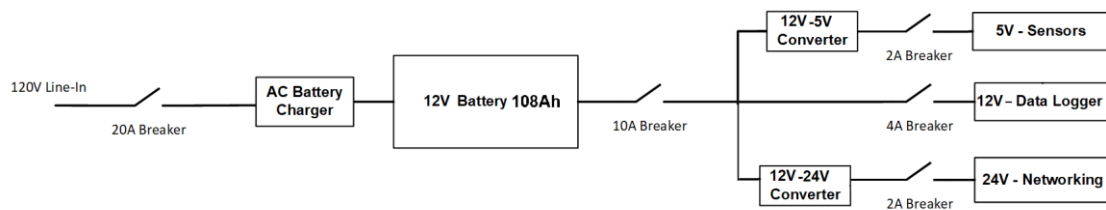


Figura 1: Esquema inicial del Sistema de alimentación de reserva de nuestro cliente BP

2.2. Propuesta de diseño

Para satisfacer los requisitos de nuestro cliente de proporcionar un suministro de reserva durante al menos 48 horas, nuestro equipo diseñó un sistema de alimentación de reserva con dos fuentes de reserva en caso de fallar el suministro principal. La primera fuente de reserva es el panel solar, y la segunda es la batería de 12V 108Ah. La figura 2 proporciona a continuación una descripción general de nuestro sistema.

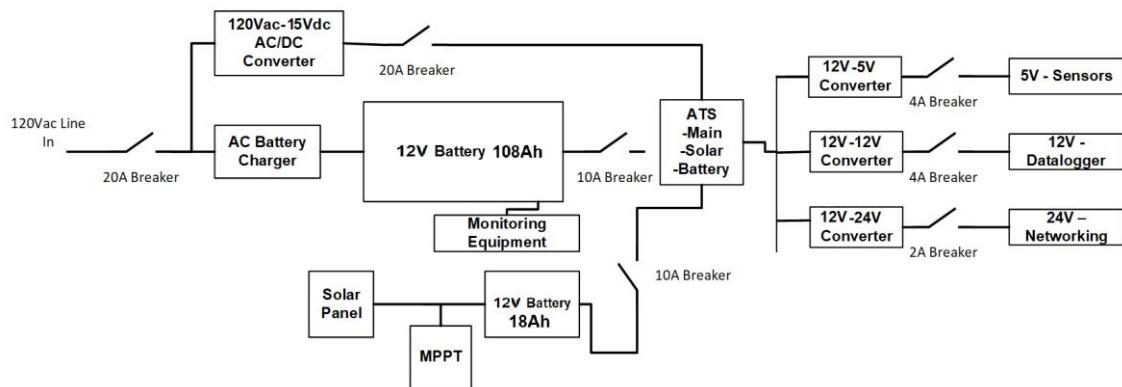


Figura 2: Propuesta de diseño

Mientras se proporcione constantemente la energía principal, nuestro sistema de reserva nunca tendrá que conectarse. Cuando el sistema de alimentación principal está funcionando correctamente, la energía fluye desde la línea de 120V AC al convertidor de AC/DC, al ATS y finalmente a la carga. Sin embargo, en el caso de un corte de energía principal, el ATS permitirá inicialmente que la energía sea provista por el panel solar y su batería más pequeña de 12V 18Ah. Esta batería se usa simplemente como un regulador de voltaje para estabilizar el voltaje de salida del panel solar a un valor constante de 14.1V. Esta batería es esencial para nuestro diseño, ya que garantiza una salida de voltaje constante de nuestro panel solar, independientemente de las condiciones climáticas. Esta batería más pequeña puede proporcionar energía durante aproximadamente 7 horas de uso continuo. En el caso de que la batería del panel solar esté completamente descargada y la energía principal permanezca fuera de línea, nuestro segundo sistema de reserva se conectará. Nuestro sistema de reserva secundario es la batería de 12V 108Ah. Este banco de baterías será responsable de proporcionar energía al equipo de la torre MET hasta que haya suficiente luz solar para recargar la batería más pequeña o cuando la energía principal regrese a la red. La batería de 108Ah puede proporcionar energía para hasta 40 horas de uso continuo. Esto da como resultado un tiempo total de respaldo de 47 horas, al que hay que añadir el tiempo que nos añade el panel solar. Haciendo una estimación pesimista, creemos que en condiciones

adversas el panel solar sería capaz de aportar un tiempo extra de al menos el 80% de la batería de 18Ah, lo que nos proporciona un tiempo adicional de casi 5,5 horas. Sumando los tres tiempos obtenemos un tiempo total de 52 horas. El equipo de la torre MET requirió tres voltajes: 5V, 12V y 24V. Para hacer esto, nuestro equipo decidió usar tres convertidores DC / DC, como se muestra en el lado derecho de la Figura 2. Uno de ellos se utiliza para reducir el voltaje, otro para aumentar el voltaje, y el convertidor 12V-12V DC / DC se usa para regular el voltaje de la batería. Este regulador de voltaje es necesario porque la tensión de salida de cada fuente de alimentación no es exactamente 12V, de hecho son aproximadamente 15V, 14,1V y 13,2V.

2.2.1.Subsistema A: Sistemas de alimentación

Nuestro diseño presenta 3 fuentes de alimentación en paralelo que funcionaran simultáneamente para proporcionar potencia a la carga. Las fuentes se dividen en dos grupos. Una primera fuente principal y dos fuentes redundantes en caso de fallo de la principal.

La fuente principal proviene de la turbina más cercana a la torre meteorológica y se trata de una fuente de corriente alterna de 120 V. Para pasar de 120 V a los 12V se adquirió un transformador rectificador 120V AC/15V DC. Este componente integra en su conjunto un transformador y rectificador. El dispositivo dispone de ventilación propia para prevenir el calentamiento de sus componentes internos y asegurar así su correcto funcionamiento.

En caso de fallo del nuestro suministro principal, empezará a funcionar automáticamente el primer sistema de alimentación de reserva que se compone de un panel solar que alimenta a una batería. El panel solar que se adquirió tiene una potencia máxima de 45W y una tensión nominal de 12V. A la salida del panel se conecta un seguidor del punto de máxima potencia o MPPT (Maximum Power Point Tracker). El MPPT ajusta el voltaje de salida del panel solar para obtener la máxima potencia. A la salida del MPPT conectamos una batería de 12V 18Ah que nos permite fijar la tensión de salida del MPPT y asegura un suministro continuo hasta que la batería se agote y el panel solar no sea capaz de suministrar la carga.

Cuando el primer sistema de alimentación de reserva no es capaz de alimentar la carga, una segunda fuente de reserva comienza a suministrar potencia a nuestro sistema. Este segundo sistema de reserva se compone de una batería de 12V 108Ah con su correspondiente cargador. El cargador de la batería es alimentado a su vez por la misma fuente que alimenta el suministro principal. Esta segunda batería tiene una capacidad mucho mayor que la batería que se alimenta a través del panel solar, por lo proporciona más tiempo de suministro de reserva en condiciones normales.

2.2.2.Subsistema B : ATS

Para conseguir que las 3 fuentes en paralelo funcionen simultáneamente en el caso de que fallen de forma escalonada, se diseña un ATS (Automatic Transfer Switch) a base de diodos. Este interruptor también establece la jerarquía de funcionamiento. En un momento inicial, solo permite el paso de corriente a través del suministro principal. En caso de fallo del principal, el siguiente subsistema en conectarse es el formado por el panel solar, y cuando este no es capaz de alimentar la carga, el segundo sistema de reserva se conecta para alimentar la carga. Esto es posible gracias a que el ATS dispone de 3 diodos en paralelo y las fuentes de alimentación están diseñadas para tener una tensión de salida ligeramente distinta. El suministro principal dispone de una tensión de 15 V, mientras que los sistemas de alimentación redundantes tienen una tensión de 14,1V en el caso del segundo suministro y 13,2V en caso de la tercera fuente de alimentación. En la figura 2 se observa el esquema del circuito eléctrico del ATS.

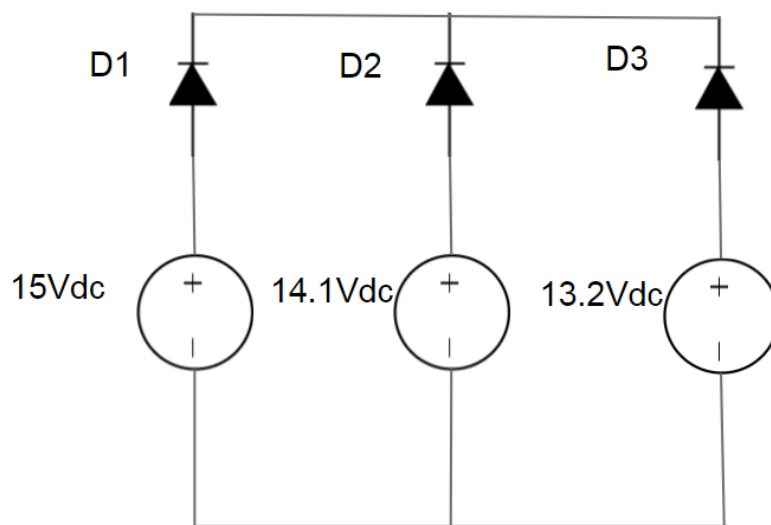


Figura 3 Esquema interno del interruptor ATS

2.2.3.Subsistema C: Convertidores Buck y Boost

Para poder suministrar los distintos voltajes requeridos por nuestro cliente (24V, 12V y 5V), se utilizan convertidores Buck y Boost. Concretamente, utilizamos un convertidor boost para subir la tensión a 24V, un convertidor buck para estabilizar el voltaje a 12V, y otro buck para bajar a los 5V.

3. Resultados

Una vez construido el prototipo se pasó a probar los distintos subsistemas y el conjunto del sistema para solucionar posibles fallos y comprobar si se cumplen todos los objetivos.

3.1. Fuentes de alimentación

Los tres sistemas de alimentación se probaron de forma independiente antes de realizar una prueba general de todo el sistema. En primer lugar, conectamos la fuente de alimentación principal y comprobamos que la salida del transformador 120V AC/15V DC era la esperada con una carga de 10 Ω . Para comprobar que el panel solar funcionaba correctamente se realizaron los ensayos de cortocircuito y de vacío para comprobar que la tensión e intensidad eran las esperadas en cada uno de los ensayos. Posteriormente, conectamos la salida del panel solar al MMPT y este a la batería de 12V 18Ah para verificar que el MPPT lograba ajustar el voltaje al punto de máxima potencia. Finalmente, conectamos la batería de 12V 108Ah a una carga de 10 Ω , y después se conectó el cargador para recuperar el nivel de carga máximo.

Tabla 1 Resultados de las Pruebas de los Sistemas de alimentación

	Tensión (V)	Intensidad (A)
Fuente Principal	14,9	1,43
Batería 108Ah	13,2	1,29
Salida MPPT	14,1	3,03

Tabla 2 Ensayos del panel solar

	Panel solar (V)
Tensión de vacío (V)	21,7
Intensidad de Vacío (A)	0
Tensión de Cortocircuito (V)	0
Intensidad de Cortocircuito (A)	2,92
Tensión Max Potencia (V)	17,1
Intensidad Max Potencia (A)	2,62

3.2. ATS

Una vez que todos los subsistemas se probaron y verificaron que funcionaban correctamente, el siguiente paso fue construir todo el sistema y probar el rendimiento completo. Para hacerlo, conectamos las diferentes fuentes de alimentación a las tres entradas del ATS, de forma que se esté suministrando potencia en todo momento. El rendimiento del ATS se muestra en el resumen a continuación. Para probar el correcto funcionamiento del interruptor, probamos el circuito completo de las tres maneras posibles en que puede operar:

1. Sistema de alimentación principal conectado
2. Pérdida del sistema principal, se conecta automáticamente el primer sistema de alimentación de reserva
3. Pérdida del segundo sistema de alimentación de reserva primario, se conecta el segundo sistema de alimentación de reserva

Las tensiones en bornes de los diodos se muestran en la tabla 3 para cada una de las situaciones

Tabla 3 Tensiones de los diodos del ATS en cada uno de los escenarios posibles

Condición	$V_{D1}(V)$	$V_{D2}(V)$	$V_{D3}(V)$
Todas las fuentes ON	0,662	-0,138	-1,038
Fuente Principal OFF	-	0,689	-0,211
Fuente principal y Solar OFF	-	-	0,694

3.3. Convertidores DC-DC y carga

La salida del ATS se conecta a los convertidores de tensión para lograr cada uno de los voltajes requeridos. A su vez, la salida de los convertidores de continua se conecta a la carga junto con la telemetría. Los datos se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 4 Medidas de tensión e intensidad en la carga

Componente	Voltaje Esperado (V)	Voltaje Medido (V)	Intensidad Esperada (A)	Intensidad Medida (A)
Convertidor 12V a 24V DC/DC	24V	23.95V	0,48	0,46
Convertidor 12V a 5V DC/DC	5V	5.07V	1	0,98
Convertidor 12V a 12V DC/DC	12V	12.06V	0.48	0,47

3.4. Tiempo de suministro de reserva

Una vez que se han suministrado los voltajes requeridos por el cliente, solo queda asegurar que el tiempo de suministro de reserva alcanza las 48 horas. Partiendo del consumo de la carga vamos calculando las pérdidas totales del sistema. De esta forma sabemos cuál es la intensidad real que deben suministrar las fuentes en todo momento. Gracias a la información proporcionada en la ficha técnica de los convertidores de continua, conocemos la eficiencia de cada uno de los convertidores. En cada uno de los diodos hay una caída de 0,7V por lo que también tenemos que tenerlo en cuenta.

En las tablas 6 y 7 se puede como observar como la intensidad total que deben suministrar las fuentes asciende a 2,69 A, ya que la eficiencia de los convertidores se encuentra entorno al 72,5%. Los diodos también afectan al rendimiento, introduciendo unas pérdidas del 5% aproximadamente.

Tabla 5 Calculo de pérdidas (1)

Tensión (V)	Resistencia (Ω)	Intensidad carga(A)	Pout Carga (W)	Eficiencia DC-DC (p.u.)	Pout ATS (W)
24	50	0,48	11,52	0,74	15,57
12	25	0,48	5,76	0,72	8,00
5	5	1,00	5,00	0,70	7,14
	Total	1,96	22,28	0,73	30,69

Tabla 6 Cálculo de Pérdidas (2)

Tensión (V)	Resistencia (Ω)	Intensidad carga (A)	Eficiencia Diodos (p.u.)	P _{out} Fuentes (W)	Intensidad Fuentes (A)
24	50	0,48	0,95	16,39	1,37
12	25	0,48	0,95	8,42	0,70
5	5	1	0,95	7,52	0,63
	Total	1,96	0,95	32,31	2,69

Una vez conocido el dato de la intensidad se puede estimar el tiempo de suministro de reserva que nuestro sistema es capaz de proporcionar en caso de fallo del sistema principal. Con los datos de capacidad de las baterías se calcula el tiempo que éstas pueden alimentar la carga. Hemos hecho una estimación del tiempo que el panel solar puede alargar el suministro en

condiciones no favorables. En conjunto, se estima que el tiempo total que el sistema puede suministrar potencia en condiciones no favorables es de 52 horas.

Tabla 7 Tiempo de suministro de reserva

TIEMPO DE SUMINISTRO		
Batería	Capacidad (Ah)	Tiempo (horas)
12V 108Ah	108	40,09
12V 18Ah	18	6,68
Solar Panel	80%	5,35
Total		52,12

4. Conclusión

El diseño satisface los requisitos pedidos por nuestro cliente, siendo capaz de suministrar los 3 voltajes necesarios durante al menos 48 horas por lo que podemos categorizar como exitoso nuestro proyecto.

Nuestro diseño cumple con todas las especificaciones estipuladas para este proyecto. Es capaz de proporcionar todas las fuentes de tensión requeridas (5 V, 12 V y 24 V) y las mantiene durante un tiempo mayor de 48 horas en caso de pérdida de potencia principal. El sistema alterna sin problemas entre las fuentes de alimentación con un tiempo de inactividad mínimo utilizando un interruptor que consta de diodos. En condiciones normales de funcionamiento, la batería de 108 Ah es cargada por la fuente de alimentación principal, pero ésta última es la que alimenta la carga, de forma que la vida útil de la batería se alarga considerablemente. También se incorpora un panel solar al diseño, fuera del alcance original del proyecto, que añade un sistema de suministro adicional al diseño que aumenta el tiempo de operación durante los períodos de inactividad. El proyecto también tiene ciertas áreas de mejora, los diodos en el diseño son una alternativa menos eficiente a los MOSFET que pueden funcionar de la misma manera que los diodos aunque requieren un control más sofisticado. Además, la telemetría en el sistema actual es totalmente local y se puede ampliar para enviar datos a un servidor remoto u otra forma de sistema de recopilación de datos. En general, nuestro grupo diseñó, creó y probó con éxito un sistema que funcionaba plenamente y que cumplía los objetivos del proyecto, dejando espacio para posibles desarrollos futuros.

Redesign of the Power Supply for BP Wind Energy's Meteorological Tower in Wind Farm

EXECUTIVE SUMMARY OF THE PROJECT

1. Introduction

The main goal of this project is to redesign and build a backup power supply for a Meteorological (MET) tower located in a wind farm of our client, British Petroleum. In this document we present the design information to successfully build a copy of the prototype that we have carried out during the realization of the project. The design requirements demand a safe, reliable and autonomous system that is capable of providing 3 different voltages (24V, 12V and 5V), for at least 48 hours.

MET towers are essential for wind farms, as they are used to assess wind resources by collecting data from temperature and pressure sensors, as well as anemometers and wind speed vanes [1]. MET towers require a reliable power source and an independent backup system to collect this data reliably. The current design, which will be discussed later with more detail, shows several failures because the only way to provide power to the equipment of the MET tower is through the 12 V battery and its charger. This allows the system to continue operating in the event of a major power outage. However, if the battery charger fails, the battery will be discharged and we will not be able to supply power to the load until the charger is replaced.

The proposed design includes a main power source and two redundant power supplies in case of failure of the main source. The main source comes directly from the output of the closest turbine to the MET tower, which is connected to a transformer 120V AC / 15V DC. A solar panel connected to a 12V 18Ah battery via an MPPT (Maximum Power Point Tracker) is proposed as the first redundant source. Finally, in case the battery connected to the panel is discharged and the weather conditions do not allow the solar panel to get enough power to supply the load, it will switch to the second redundant source. This last supply consists of a large capacity 12V 108Ah battery, which allows the meteorological tower to operate a minimum of 48 hours if the main source fails.

To be able to control the different supplies, these are connected to an ATS (Automatic Transfer Switch) that allows switching automatically from one source to another. To supply the different voltages, we use buck and boost converters that allow to increase or reduce the voltage from the 12V of the ATS output to the load voltages (24V, 12V, 5V). For greater control over the system, the team decide to install a telemetry equipment to measure the current and voltage at the loads. Finally, we install the necessary protection devices such as fuses and circuit breakers.

2. Design

2.1. Initial design

The initial system initially available to our customer BP consists of a power supply connected in series with a charger that connects to a battery, so that, once the source fails, the system has power until the battery is totally discharged. This design presents several problems. One of them is the inefficiency of the system when having to constantly charge the battery, which entails considerable losses. Also, the battery life is being reduced because it is constantly draining power. Another negative factor of this design is the multiple dependence on two key components, charger and battery. In case of failure of any of these, the entire system would fail. Finally, the backup power time in case of failure of the primary power source, only depends on the battery. For all this, our design proposes improvements and the incorporation of new components to solve or reduce the impact of each of these problems.

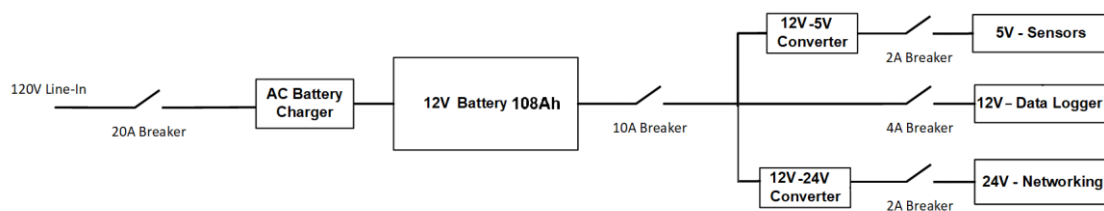


Figure 1: Initial outline of the backup power system of our customer BP

2.2. Design proposal

To meet our customer's requirements to provide a backup supply for at least 48 hours, our team designed a backup power supply with two redundancies in case of failure of the primary supply. The first redundancy will be the solar panel, and the secondary redundancy will be the 12V 108Ah battery. Figure 2 provides a general description of our system below.

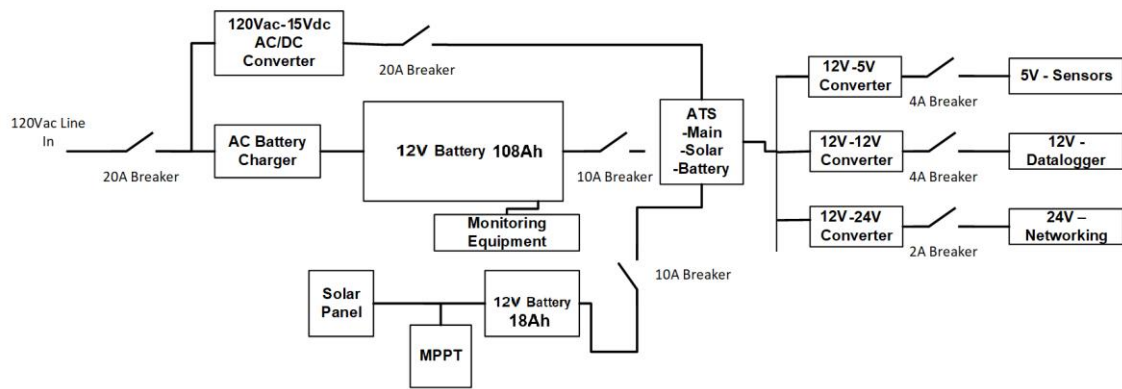


Figure 2: Design Proposal

As long as main power is constantly being provided, our backup system will never need to come online. When the main power system is functioning properly, power flows from the 120Vac line into the AC/DC converter, into the Automatic Transfer Switch (ATS), and ultimately to the load. However, in the case of a main power outage, the ATS will initially allow power to be provided by the solar panel and its smaller 18Ah battery. This battery is used simply as a voltage regulator to steady the output voltage of the solar panel to a constant 12V. This battery is essential to our design as it ensures a constant voltage output from our solar panel, regardless of the weather conditions. This smaller battery can provide power for about 7 hours of continuous use. In the case that the solar panel battery is completely discharged and the main power remains offline, our secondary redundancy will come online. Our secondary redundancy is the larger 108Ah, 12V battery. This battery will be responsible for providing power to the MET tower equipment until there is enough sun to recharge the smaller battery or the main power comes back online. The larger, 12V battery bank can provide power for up to 40 hours of continuous use. This results in a total backup time of 47 hours, 7 hours from the solar panel battery combined with the 40 hours from the larger battery bank. Then we have to add the time provided by the solar panel. Making a pessimistic estimation, we calculate that in adverse conditions the solar panel would be able to provide an extra time of at least 80% of the 18Ah battery, which gives us an additional time of almost 5.5 hours. Adding the three times we obtain a total time of 52 hours[1].

The MET tower equipment required three voltages to be provided: 5V, 12V and 24V. In order to do this our team decided to use three DC/DC converters, as shown on the right side of Figure 2. There is one converter used to step down the voltage, one used to step up the voltage, and the 12V-12V DC/DC converter is used to regulate the battery voltage. This voltage regulator is necessary because the output voltage of each power supply is not exactly 12V, in fact they are approximately 15V, 14.1V and 13.2V[.].

It is important to constantly monitor the power supply, and ensure the proper amount of voltage and current is being delivered to the loads. The MET tower equipment gather data continuously, roughly every 5 seconds, so downtime in the power supply would have disastrous effects. To facilitate the maintenance of the power supply, we have designed telemetry to display voltage and current readings for each output, and monitor the charge of the battery. Our backup power supply design met all of BP's specifications of providing the required voltages to the MET tower equipment for at least 48 hours[].

2.2.1.Subsystem A: Power Supplies

Our design has 3 parallel power supplies that will work simultaneously to provide power to the load. The sources are divided into two groups. A first main source and two redundant sources in case of failure of the main one.

The main source comes from the turbine closest to the meteorological tower and it is an AC 120V source. To convert $120 V_{ac}$ to $12V_{dc}$, a rectifier transformer $120V_{ac}/15V_{dc}$ was acquired. This component comes with a transformer to go from $120V_{ac}$ to $12V_{ac}$ and then a rectifier to go from $12 V_{ac}$ to $12V_{dc}$. The device has its own ventilation to prevent the heating of its internal components and ensure its proper functioning.

In case of failure of our main supply, the first redundant power source that is composed of a solar panel that powers a battery will start to work automatically. The solar panel that was acquired has a maximum power of 45W and a nominal voltage of 12V. At the output of the panel, a follower of the maximum power point or MPPT (Maximum Power Point Tracker) is connected. The MPPT adjusts the output voltage of the solar panel to obtain maximum power. At the output of the MPPT we connect a 12V 18Ah battery that allows us to set the output voltage of the MPPT and ensures a continuous supply until the battery runs out and the solar panel is not able to supply the load.

When the first redundant power source is not capable of powering the load, a second redundant power source begins to supply power to our system. This second redundant system consists of a 12V 108Ah battery with its corresponding charger. The battery charger input is connected by the same source that supplies the main supply. This second battery has a larger capacity than the battery that is powered through the solar panel, so it provides more backup supply time under normal conditions.

2.2.2.Subsystem B: ATS

To switch between the 3 sources simultaneously whenever a source is lost, we design an ATS (Automatic Transfer Switch) based on diodes. This switch also establishes the operating

hierarchy. In an initial moment, only allows the main source to supply the load. In case of failure of the main source, the next source to connect is that formed by the solar panel, and when this is not able to power the load, the second backup source is connected. This is possible because the ATS has 3 diodes in parallel and the power supplies are designed to have a slightly different output voltage. The main supply has a voltage of 15V, while the redundant supply systems have a voltage of 14.1V in the case of the first redundant source and 13.2V in the case of the second redundant power supply. Figure 2 shows the scheme of the electrical circuit of the ATS.

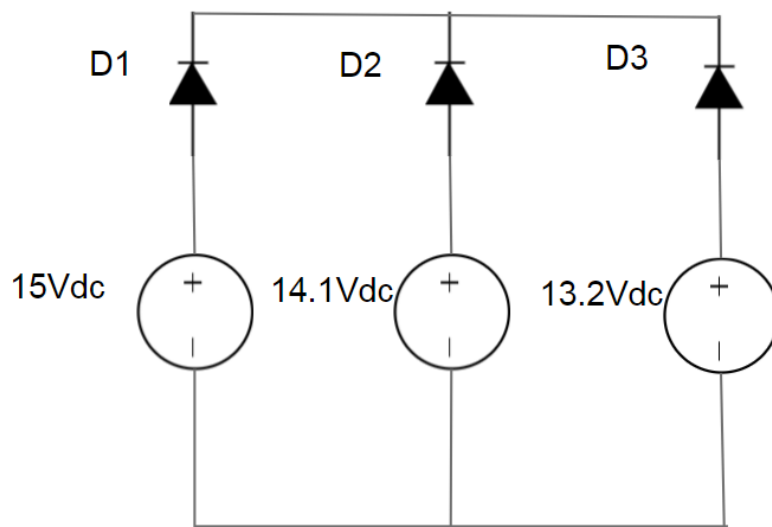


Figure 3 Internal schematic of the ATS switch

2.2.3.Subsystem C: Buck & Boost Converters

In order to supply the different voltages required by our client (24V, 12V and 5V), We decide to use Buck and Boost converters. Specifically, we use a boost converter to step up the voltage to 24V, a buck converter to stabilize the voltage to 12V, and another buck to step to 5V.

3. Results

Once the prototype was built, we can start testing the different subsystems and the whole system to solve possible failures and check if all the objectives are met.

3.1. Power Supplies

The three power sources were tested independently before performing a general test of the entire system. First, we connect the main power supply and verify that the output of the 120V AC / 15V DC transformer was the expected one with a load of 10Ω. To verify that the solar panel was functioning correctly, we performed short-circuit and open-circuit tests to verify that the voltage and current were as expected in each test. Later, we connected the output of the solar panel to the MMPT and this to the 12V 18Ah battery to verify that the MPPT was able to adjust the voltage to the point of maximum power. Finally, we connected the 12V 108Ah battery to a 10Ω load, and then connected the charger to recover the maximum charge level.

Table 1 Supply Systems Testing Results

	Voltage(V)	Current (A)
Main Source	14,9	1,43
12V 108Ah Battery	13,2	1,29
MPPT Output	14,1	3,03

Table 2 Solar Panel Tests

	Solar Panel
Open Voltage (V)	21,7
Open Current (A)	0
Short-circuit Voltage (V)	0
Short-circuit Current (A)	2,92
Voltage at Maximum Power (V)	17,1
Current at Maximum Power (A)	2,62

3.2. ATS

Once all subsystems were tested and verified to work correctly, the next step was to build the entire system and test the full performance. To do this, we connect the different power supplies to the three inputs of the ATS, so that power is being supplied at all times. The performance of the ATS is shown in the summary below. To test the correct functioning of the switch, we test the complete circuit in three possible ways it can operate:

- 1) Main source connected.
- 2) Loss of the main source, the first backup source is automatically connected.
- 3) Loss of the first backup source, the second redundant source is connected.

The diodes terminal voltages of are shown in table 3 for each of the situations.

Table 3 Tensions of the ATS diodes in each of the possible scenarios

Status	$V_{D1}(V)$	$V_{D2}(V)$	$V_{D3}(V)$
All sources ON	0,662	-0,138	-1,038
Main Source OFF	-	0,689	-0,211
Main & Solar Source OFF	-	-	0,694

3.3. DC-DC Converters & load

The ATS output is connected to the voltage converters to get all the required voltages. In turn, the DC converters output are connected to the loads along with the telemetry. The data is collected in the following table.

Table 4: Measurements of tension and current at the load

Component	Expected Voltage (V)	Actual Voltage (V)	Expected Current (A)	Actual Current (A)
12V to 24V DC/DC Converter	24V	23.95V	0,48	0,47
12V to 5V DC/DC Converter	5V	5.07V	0,48	0,99
12V to 12V DC/DC Converter	12V	12.06V	1	0,48

3.4. Backup Supply time

Once the voltages required by the customer have been supplied, we have to ensure that the backup supply time reaches 48 hours. Starting from the consumption of the load, we calculate the total losses of the system. This way, we know the actual current that the sources must supply at all times. Thanks to the information provided in the data sheet of the DC converters, we know the efficiency of each of the converters. In each of the diodes there is a drop of 0.7V so we also have to take it into account.

In tables 6 and 7 it can be seen how the total current that the sources must supply amounts to 2.69 A, since the efficiency of the converters is around 72.5%. The diodes also affect the performance, introducing losses of approximately 5%.

Table 5 Losses Calculations (1)

Voltage (V)	Resistance (Ω)	Load Current (A)	P _{out} Load (W)	DC-DC Efficiency (p.u.)	P _{out} ATS (W)
24	50	0,48	11,52	0,74	15,57
12	25	0,48	5,76	0,72	8,00
5	5	1,00	5,00	0,70	7,14
	Total	1,96	22,28	0,73	30,69

Table 6 Losses Calculations (2)

Voltage (V)	Resistance (Ω)	Load Current (A)	Diodes Efficiency (p.u.)	Pout Fuentes (W)	Sources Current(A)
24	50	0,48	0,95	16,39	1,37
12	25	0,48	0,95	8,42	0,70
5	5	1	0,95	7,52	0,63
	Total	1,96	0,95	32,31	2,69

Once the current data is known, it is possible to estimate the backup supply time that our system is able to provide in case of failure of the main source. With the information from the batteries capacity we can calculate the time that they can supply the load. We have made an estimation of the time that the solar panel can extend the supply in unfavorable conditions. Overall, it is estimated that the total time that the system can supply power under unfavorable conditions is 52 hours.

Table 7 Backup Supply Time

Backup Supply Time		
Source	Capacity (Ah)	Time (hours)
12V 108Ah	108	40,09
12V 18Ah	18	6,68
Solar Panel	80%	5,35
Total		52,12

4. Conclusion

The design meets all the specifications that were stipulated for this project. It provides all necessary voltage outputs (5V, 12V, and 24V) and maintains them for up to fifty-two hours during periods of loss of main power. The system seamlessly switches between power sources with minimal downtime using a transfer switch consisted of diodes. When not in operation, the main back-up battery has its charge maintained by the main power source, but is not drained otherwise, lengthening the lifetime of the battery. We also added a solar panel to the design, outside of the original scope of the project, which adds an additional redundancy to the design that increases operating time during periods of downtime. The project has also further room to grow: the diodes in the design are a simple less efficient alternative to MOSFETs which can be made to function in much the same way as the diodes do. Additionally, the telemetry in the current system is all local and can be expanded to send data to a remote server or to other form of data collection system. Finally, the team designed, created, and successfully tested a fully functioning system that accomplished the goals of the project while also leaving room for possible future developments.

ÍNDICE

- 1.0 INTRODUCCIÓN
- 2.0 DISEÑO
 - 2.1 DISEÑO INICIAL
 - 2.2 PROPUESTA DE DISEÑO
 - 2.2.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN
 - 2.2.2 ATS
 - 2.2.3 CONVERTIDORES BUCK Y BOOST
- 3.0 VERIFICACIÓN Y DETALLES DEL PROTOTIPO
- 4.0 PRUEBAS Y RESULTADOS
 - 4.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN
 - 4.2 ATS
 - 4.3 CONVERTIDORES DC-DC Y CARGA
 - 4.4 TIEMPO DE SUMINISTRO DE RESERVA
- 5.0 PRESUPUESTO
- 6.0 SEGURIDAD Y ASPECTOS ÉTICOS
- 7.0 CONCLUSION
- 8.0 REFERENCIAS

ANEXOS:

- A. FICHAS TÉCNICAS
- B. FOTOS DEL PROTOTIPO
- C. DISEÑO DE UN MPPT

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente proyecto es rediseñar y construir un sistema de alimentación de reserva para una torre meteorológica (MET) ubicada en un parque eólico de nuestro cliente, British Petroleum. En este documento se presenta la información detallada del diseño para construir satisfactoriamente una copia del prototipo que hemos llevado a cabo durante la realización del proyecto. Los requisitos de diseño demandan un sistema seguro, fiable y autónomo que sea capaz de proporcionar 3 voltajes diferentes (24V, 12V y 5V), durante un tiempo mayor de 48h.

Las torres meteorológicas son esenciales para los parques eólicos, ya que se utilizan para evaluar los recursos eólicos mediante la recopilación de datos de los sensores de temperatura y presión, así como los anemómetros y las paletas de velocidad del viento [1]. Las torres MET requieren una fuente de alimentación fiable y un sistema de respaldo independiente para recopilar estos datos de manera confiable. El diseño actual, del que se hablará posteriormente en mayor detalle, muestra diversos fallos porque la única forma de proporcionar energía a los equipos de la torre MET es a través de la batería de 12 V y su cargador. Esto permite que el sistema continúe funcionando en el caso de un corte de energía principal. Sin embargo, si el cargador de la batería falla, la batería se descargará y no habrá forma de proporcionar energía a la torre MET hasta que se cambie el cargador.

El diseño propuesto incluye una fuente de alimentación primaria y dos fuentes de alimentación redundantes en caso de fallo de la fuente primaria. La fuente primaria procede directamente de la salida de la turbina más cercana a la torre meteorológica, que se conecta a un transformador rectificador 120V AC/ 15V DC. Como fuente secundaria se propone un panel solar conectado a una batería de 12V 18Ah a través de un MPPT (Maximum Power Point Tracker). Finalmente, en caso de que la batería conectada al panel se agote y las condiciones climáticas no permitan al panel solar alimentar la carga, se pasará a la tercera fuente de alimentación. Este último suministro consiste en una batería de 12V 108Ah, que permite que la torre meteorológica pueda funcionar un mínimo de 48 horas si la fuente primaria falla.

Para poder controlar los distintos suministros, estos se conectan a un ATS (Automatic Transfer Switch) que permite cambiar de una fuente a otra de forma automática. Para suministrar los distintos voltajes se dispone de distintos convertidores buck y boost que permiten aumentar o reducir el voltaje de los 12V de la batería al necesario (24V, 12V, 5V). Para un mayor control sobre el sistema se decide instalar un equipo de telemetría para medir la corriente y tensión que llegan a cada una de las cargas. Por último, instalamos los aparatos de protección necesarios tales como fusibles e interruptores automáticos.

2. DISEÑO

2.1 DISEÑO INICIAL

El sistema del que dispone inicialmente nuestro cliente BP consta de una fuente de alimentación conectada en serie con un cargador que conecta a una batería, de forma que, una vez que falla la fuente, el sistema tiene electricidad hasta que se agota la batería. Este diseño presenta varios problemas. Uno de ellos es la ineficiencia del sistema al tener que cargar constantemente la batería, lo que conlleva unas pérdidas considerables. También, el hecho de tener conectada constantemente la batería, condensa drásticamente su vida útil, reduciéndola notablemente. Otro factor negativo de este diseño es la múltiple dependencia en cada uno de los componentes clave, cargador y batería. En caso de fallar alguno de estos, todo el sistema fallaría por completo. Por último, el tiempo alimentación de reserva en caso del fallo de la fuente de alimentación primaria, depende únicamente de la batería. Por todo esto, nuestro diseño propone mejoras y la incorporación de nuevos componentes para resolver o reducir el impacto cada uno de estos problemas.

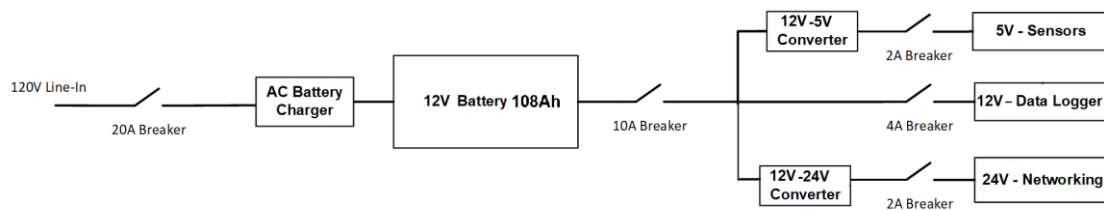


Figura 1 Esquema inicial del Sistema de alimentación de reserva de nuestro cliente BP

2.2 PROPUESTA DE DISEÑO

Para satisfacer los requisitos de nuestro cliente de proporcionar un suministro de reserva durante al menos 48 horas, nuestro equipo diseñó un sistema de alimentación de reserva con dos fuentes de reserva en caso de fallar el suministro primario. La primera fuente de reserva es el panel solar, y la segunda es la batería de 12V 108Ah. La figura 2 proporciona a continuación una descripción general de nuestro sistema.

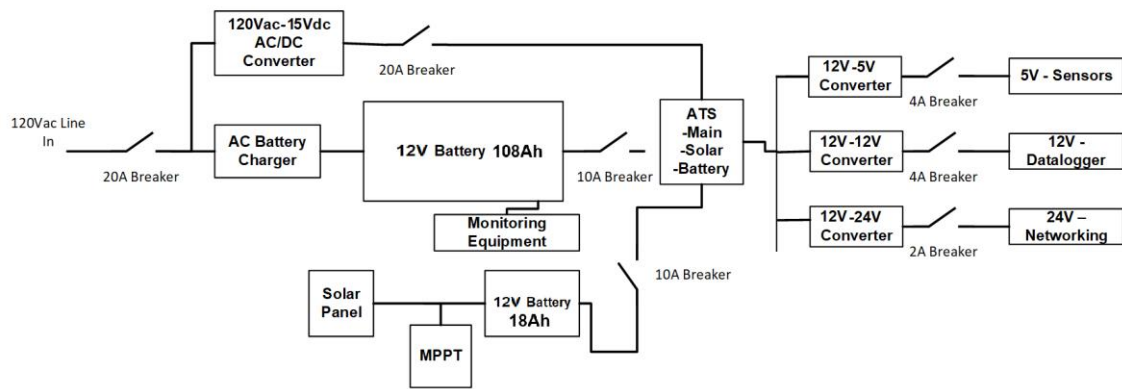


Figura 2 Propuesta de diseño

Mientras se proporcione constantemente la energía principal, nuestro sistema de reserva nunca tendrá que conectarse. Cuando el sistema de alimentación principal está funcionando correctamente, la energía fluye desde la línea de 120V AC al convertidor de AC/DC, al ATS y finalmente a la carga. Sin embargo, en el caso de un corte de energía principal, el ATS permitirá inicialmente que la energía sea provista por el panel solar y su batería más pequeña de 12V 18 Ah. Esta batería se usa simplemente como un regulador de voltaje para estabilizar el voltaje de salida del panel solar a un valor constante de 14.1V. El regulador de voltaje es esencial para nuestro diseño, ya que garantiza una salida de voltaje constante de nuestro panel solar, independientemente de las condiciones climáticas. Esta batería más pequeña puede proporcionar energía durante aproximadamente 7 horas de uso continuo. En el caso de que la batería del panel solar esté completamente descargada y la energía principal permanezca fuera de línea, nuestro segundo sistema de reserva se conectará. Nuestro sistema de reserva secundario es la batería de 12V 108Ah. Este banco de baterías será responsable de proporcionar energía al equipo de la torre MET hasta que haya suficiente luz solar para recargar la batería más pequeña o cuando la energía principal regrese a la red. La batería de 108Ah puede proporcionar energía para hasta 40 horas de uso continuo. Esto da como resultado un tiempo total de respaldo de 47 horas, al que hay que añadir el tiempo que nos añade el panel solar. Haciendo una estimación pesimista, creemos que en condiciones adversas el panel solar sería capaz de aportar un tiempo extra de al menos el 80% de la batería de 18Ah, lo que nos proporciona un tiempo adicional de casi 5,5 horas. Sumando los tres tiempos obtenemos un tiempo total de 52 horas. El equipo de la torre MET requirió tres voltajes: 5V, 12V y 24V. Para hacer esto, nuestro equipo decidió usar tres convertidores DC / DC, como se muestra en el lado derecho de la Figura 2. Uno de ellos se utiliza para reducir el voltaje, otro para aumentar el voltaje, y el convertidor 12V-12V DC / DC se usa para regular el voltaje de la batería. Este regulador de voltaje es necesario porque la tensión de salida de cada

fuentes de alimentación no es exactamente 12V, de hecho son aproximadamente 15V, 14,1V y 13,2V.

2.2.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Nuestro diseño presenta 3 fuentes de alimentación en paralelo que funcionaran simultáneamente para proporcionar potencia a la carga. Las fuentes se dividen en dos grupos. Una primera fuente principal y dos fuentes redundantes en caso de fallo de la principal.

La fuente principal proviene de la turbina más cercana a la torre meteorológica y se trata de una fuente de corriente alterna de 120 V. Para pasar de 120 V a los 12V se adquirió un transformador rectificador 120V AC/15V DC. Este componente integra en su conjunto un transformador y rectificador. El dispositivo dispone de ventilación propia para prevenir el calentamiento de sus componentes internos y asegurar así su correcto funcionamiento.

En caso de fallo del nuestro suministro principal, empezará a funcionar automáticamente el sistema de alimentación secundario que se compone de un panel solar que alimenta a una batería. El panel solar que se adquirió tiene una potencia máxima de 45W y una tensión nominal de 12V. A la salida del panel se conecta un seguidor del punto de máxima potencia o MPPT (Maximum Power Point Tracker). El MPPT ajusta el voltaje de salida del panel solar para obtener la máxima potencia. A la salida del MPPT conectamos una batería de 12V 18Ah que nos permite fijar la tensión de salida del MPPT y asegura un suministro continuo hasta que la batería se agote y el panel solar no sea capaz de suministrar la carga.

Cuando la fuente de alimentación secundaria no es capaz de alimentar la carga, una tercera fuente de alimentación comienza a suministrar potencia a nuestro sistema. Este segundo sistema redundante se compone de una batería de 12V 108Ah con su correspondiente cargador. El cargador de la batería es alimentado a su vez por la misma fuente que alimenta el suministro principal. Esta segunda batería tiene una capacidad mucho mayor que la batería que se alimenta a través del panel solar, por lo proporciona más tiempo de suministro de reserva en condiciones normales.

2.2.2 ATS

Para conseguir que las 3 fuentes en paralelo funcionen simultáneamente en el caso de que fallen de forma escalonada, se diseña un ATS (Automatic Transfer Switch) a base de diodos. Este interruptor también establece la jerarquía de funcionamiento. En un momento inicial, solo permite el paso de corriente a través del suministro principal. En caso de fallo del

principal, el siguiente subsistema en conectarse es el formado por el panel solar, y cuando este no es capaz de alimentar la carga, el segundo sistema de reserva se conecta para alimentar la carga. Esto es posible gracias a que el ATS dispone de 3 diodos en paralelo y las fuentes de alimentación están diseñadas para tener una tensión de salida ligeramente distinta. El suministro principal dispone de una tensión de 14,8 V, mientras que los sistemas de alimentación redundantes tienen una tensión de 14,1V en el caso del segundo suministro y 13,2V en caso de la tercera fuente de alimentación. Al tener los voltajes de cada fuente configurados de esta manera la corriente solo puede pasar por uno de los 3 diodos en cada uno de los escenarios posibles. En el caso inicial, la corriente pasa por la fuente principal, y establece un voltaje en el nudo común de 14.8V (menos las pérdidas del diodo). Al haber un voltaje mayor en el nudo que en las entradas de los diodos D2 y D3 no es posible que pase corriente a través de ellos debido a que se encuentran en zona de polaridad inversa. En el segundo escenario posible, la fuente principal estará apagada y la primera fuente de reserva fijará el voltaje en el nudo. Al haber 14.1V en el nudo, la corriente pasa a través del diodo D2 pero no a través del D3. Finalmente, cuando la segunda fuente de reserva está activa, la corriente fluye a través del diodo D3. A continuación se muestra la curva característica de un diodo, que explica la caída de tensión cuando el diodo conduce y por qué el diodo no puede conducir cuando la tensión es negativa. En la figura 4

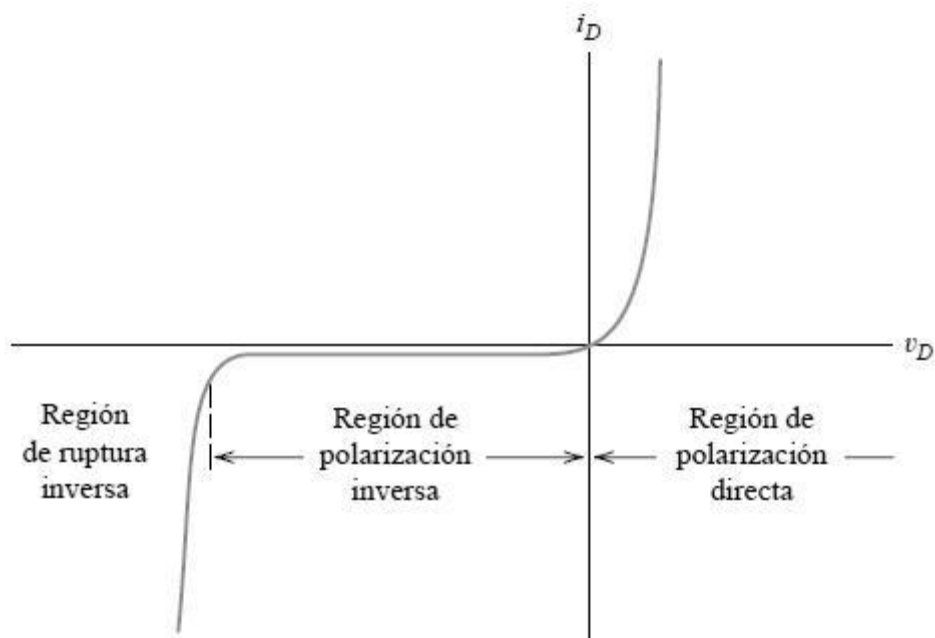


Figura 3 Curva Característica del diodo[3]

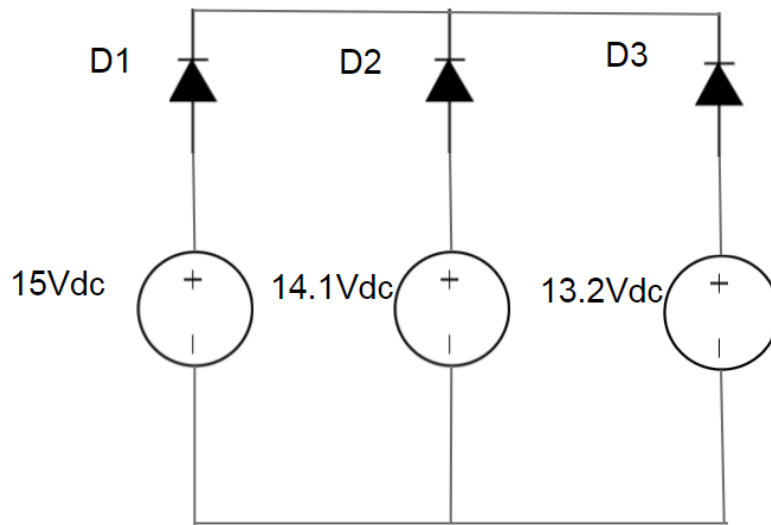


Figura 4 Esquema interno del interruptor ATS

2.2.3 CONVERTIDORES BUCK Y BOOST

Para poder suministrar los distintos voltajes requeridos por nuestro cliente (24V, 12V y 5V), se utilizan convertidores Buck y Boost. Concretamente, utilizamos un convertidor boost para subir la tensión a 24V, un convertidor buck para estabilizar el voltaje a 12V, y otro buck para bajar a los 5V.

Los esquemas internos de los convertidores Boost y Buck se muestran a continuación.

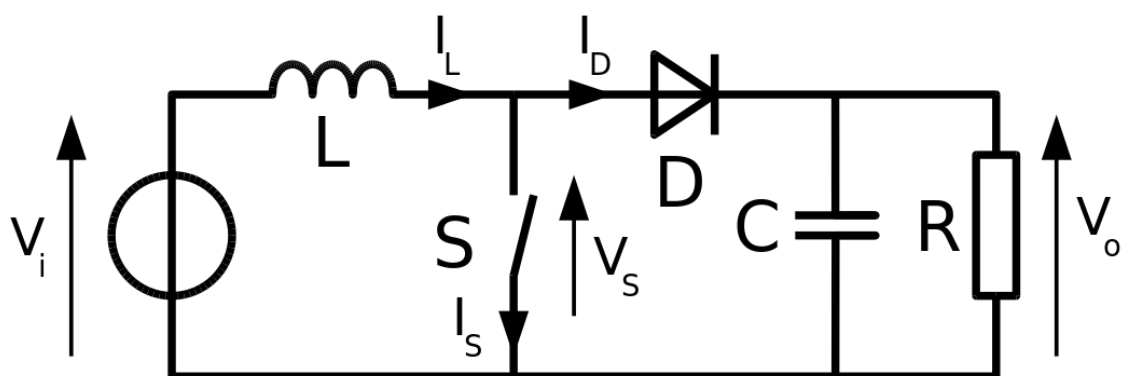


Figura 5 Esquema interno de un convertidor Boost [1]

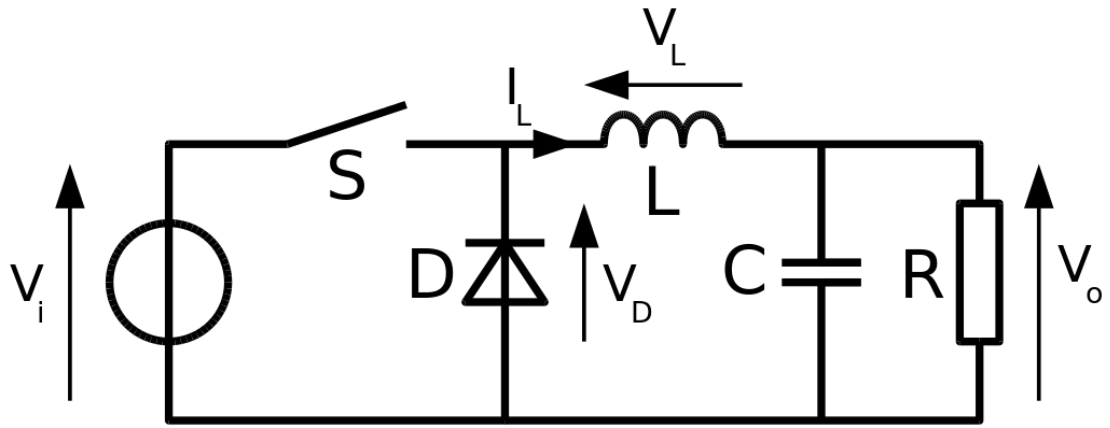


Figura 6 Esquema interno de un convertidor Buck [2]

3. VERIFICACIÓN Y DETALLES DEL PROTOTIPO

Una vez completado el diseño se inició la fase de construcción del prototipo, pero antes de ensamblar todos los componentes se llevó a cabo un testeo completo de cada una de las partes. Para ello, se establecen los siguientes criterios para comprobar si cada uno de los componentes funcionaba correctamente. En la siguiente tabla se explican los criterios que se usaron para categorizar como válido cada uno de los componentes.

Tabla 1 especificaciones de componentes

Subsistema	Componente	Especificación
Fuente Principal	Convertidor AC/DC	Tensión de salida mayor de 14,8V
Primera Fuente de Reserva	12V 45W Panel Solar	Debe proporcionar al menos 2,62A a 17V
	MPPT/Cargador	Deben proporcionar ser capaces de alimentar la carga y tener una tensión de salida alrededor de 14,1V
	18Ah 12V Batería	
Segunda Fuente de Reserva	108Ah 12V Deep Cycle Battery	Debe aportar un voltaje de al menos 12V
	Cargador de batería 12V	Ser capaz de recargar la batería
ATS	Conmutador automático a base de diodos	Cambiar de fuente de alimentación cuando sea necesario y soportar una intensidad de al menos 3A
Salida	Convertidor 12-5V DC/DC	Proporcionar las tensiones requeridas en cada caso
	Convertidor 12-12V DC/DC	
	Convertidor 12-24V DC/DC	
Telemetría	Interfaz Gráfica	Mostrar voltajes e intensidad de cada una de las salidas
Protección del sistema	Interruptores automáticas	Proteger el Sistema contra faltas a 2A, 4A, 10A, 20A

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez construido el prototipo se pasó a probar los distintos subsistemas y el conjunto del sistema para solucionar posibles fallos y comprobar si se cumplen todos los objetivos.

4.1 Fuentes de alimentación

Los tres sistemas de alimentación se probaron de forma independiente antes de realizar una prueba general de todo el sistema. En primer lugar, conectamos la fuente de alimentación principal y comprobamos que la salida del transformador 120V AC/15V DC era la esperada con una carga de 10 Ω . Para comprobar que el panel solar funcionaba correctamente se realizaron los ensayos de cortocircuito y de vacío para comprobar que la tensión e intensidad eran las esperadas en cada uno de los ensayos. Posteriormente, conectamos la salida del panel solar al MMPT y este a la batería de 12V 18Ah para verificar que el MPPT lograba ajustar el voltaje al punto de máxima potencia. Finalmente, conectamos la batería de 12V 97Ah a una carga de 10 Ω , y después se conectó el cargador para recuperar el nivel de carga máximo.

Tabla 2 Resultados de las Pruebas de los Sistemas de alimentación

	Tensión (V)	Intensidad (A)
Fuente Principal	14,9	1,43
Batería 97Ah	13,2	1,29
Salida MPPT	14,1	3,03

Tabla 3 Ensayos del panel solar

	Panel solar (V)
Tensión de vacío (V)	21,7
Intensidad de Vacío (A)	0
Tensión de Cortocircuito (V)	0
Intensidad de Cortocircuito (A)	2,92
Tensión Max Potencia (V)	17,1
Intensidad Max Potencia (A)	2,62

4.2 ATS

Una vez que todos los subsistemas se probaron y verificaron que funcionaban correctamente, el siguiente paso fue construir todo el sistema y probar el rendimiento completo. Para hacerlo, conectamos las diferentes fuentes de alimentación a las tres entradas del ATS, de forma que se esté suministrando potencia en todo momento. El rendimiento del ATS se muestra en el

resumen a continuación. Para probar el correcto funcionamiento del interruptor, probamos el circuito completo de las tres maneras posibles en que puede operar:

1. Sistema de alimentación principal conectado
2. Pérdida del sistema principal, se conecta automáticamente el primer sistema de alimentación de reserva
3. Pérdida del segundo sistema de alimentación de reserva primario, se conecta el segundo sistema de alimentación de reserva

Las tensiones en bornes de los diodos se muestran en la tabla 4 para cada uno de los posibles escenarios.

Tabla 4 Tensiones de los diodos del ATS en cada uno de los escenarios posibles

Condición	$V_{D1}(V)$	$V_{D2}(V)$	$V_{D3}(V)$
Todas las fuentes ON	0,662	-0,138	-1,038
Fuente Principal OFF	-	0,689	-0,211
Fuente principal y Solar OFF	-	-	0,694

Como se sabe que hay una caída de tensión en los diodos alrededor de 0,7V se hace un cálculo para estimar la eficiencia de los diodos que se recoge en la siguiente tabla. A partir de este cálculo determinamos que la eficiencia de los diodos es de aproximadamente del 95%. En la siguiente tabla se muestra el proceso de cálculo.

Tabla 5 Cálculo de la eficiencia de los diodos

I (A)	V_{in} (V)	Caida Diodo (V)	V_{out} (V)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	Eficiencia (%)
2,69	14,90	0,70	14,20	40,14	38,25	95,30
2,69	14,10	0,70	13,40	37,98	36,10	95,04
2,69	13,20	0,70	12,50	35,56	33,67	94,70

4.3 Convertidores DC-DC y carga

La salida del ATS se conecta a los convertidores de tensión para lograr cada uno de los voltajes requeridos. A su vez, la salida de los convertidores de continua se conecta a la carga junto con la telemetría. Los datos se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 6 Medidas de tensión e intensidad en la carga

Componente	Voltaje Esperado (V)	Voltaje Real (V)	Intensidad Esperada (A)	Intensidad Real (A)
Convertidor 12V a 24V DC/DC	24V	23.95V	0,48	0,4743083
Convertidor 12V a 5V DC/DC	5V	5.07V	1	0,99009901
Convertidor 12V a 12V DC/DC	12V	12.06V	0.48	0,484337349

4.4 Tiempo de suministro de reserva

Una vez que se han suministrado los voltajes requeridos por el cliente, solo queda asegurar que el tiempo de suministro de reserva alcanza las 48 horas. Partiendo del consumo de la carga vamos calculando las pérdidas totales del sistema. De esta forma sabemos cuál es la intensidad real que deben suministrar las fuentes en todo momento. Gracias a la información proporcionada en la ficha técnica de los convertidores de continua, conocemos la eficiencia de cada uno de los convertidores. En cada uno de los diodos hay una caída de 0,7V por lo que también tenemos que tenerlo en cuenta.

En las tablas 6 y 7 se puede como observar como la intensidad total que deben suministrar las fuentes asciende a 2,69 A, ya que la eficiencia de los convertidores se encuentra entorno al 72,5%. Los diodos también afectan al rendimiento, introduciendo unas pérdidas del 5% aproximadamente.

Tabla 8 Calculo de pérdidas (1)

Tensión (V)	Resistencia (Ω)	Intensidad carga(A)	Pout Carga (W)	Eficiencia DC-DC (p.u.)	Pout ATS (W)
24	50	0,48	11,52	0,74	15,57
12	25	0,48	5,76	0,72	8,00
5	5	1,00	5,00	0,70	7,14
	Total	1,96	22,28	0,73	30,69

Tabla 9 Cálculo de Pérdidas (2)

Tensión (V)	Resistencia (Ω)	Intensidad carga (A)	Eficiencia Diodos (p.u.)	P _{out} Fuentes (W)	Intensidad Fuentes (A)
24	50	0,48	0,95	16,39	1,37
12	25	0,48	0,95	8,42	0,70
5	5	1	0,95	7,52	0,63
Total		1,96	0,95	32,31	2,69

Una vez conocido el dato de la intensidad se puede estimar el tiempo de suministro de reserva que nuestro sistema es capaz de proporcionar en caso de fallo del sistema principal. Con los datos de capacidad de las baterías se calcula el tiempo que éstas pueden alimentar la carga. Hemos hecho una estimación del tiempo que el panel puede alargar el suministro en condiciones no favorables. En conjunto, se estima que el tiempo total que el sistema puede suministrar potencia en condiciones no favorables es de 52 horas.

Tabla 10 Tiempo de suministro de reserva

Batería	Capacidad (Ah)	Tiempo (horas)
12V 108Ah	108	40,09
12V 18Ah	18	6,68
Solar Panel	80%	5,35
Total		52,12

5. PRESUPUESTO

Para la realización del proyecto se dispone de un presupuesto de 1000\$ que proporciona nuestro cliente BP. A pesar de que los requisitos de diseño no requerían la inclusión de un panel solar se decide incorporar porque supone una mejora sustancial al conjunto del sistema. También se decide aproximarse lo máximo posible al sistema del que dispone ya el cliente en sus instalaciones, por lo que se acuerda construir un prototipo escala 1:1. Por todo ello, para poder llevar a cabo estas dos iniciativas se solicita un incremento de presupuesto de 500\$ para poder construir un prototipo escala 1:1 e incorporar el panel solar como una fuente de reserva adicional. En la siguiente tabla se muestra un desglose de todos los gastos de componentes que fueron adquiridos para la consecución del proyecto.

Tabla 8 Desglose precios componentes

Modelo	Descripción	Nº	Precio p.u.	Envío	Precio Total
667-EEU-FS1H102L	EEU-FS1H102L / Aluminum Electrolytic Capacitors - Leaded 50VDC 1000uF 10000H 12.5x35mm	2	\$1.66	0	3,32
530-HCTI-330-5.2	HCTI-330-5.2 / Fixed Inductors HIGH CURR TOROIDAL INDUCTOR 330 UH	2	\$2.31	0	4,62
942-IRS21834SPBF	IRS21834SPBF / Gate Drivers HALF BRDG DRVR 600V 10 to 20V 1.4A	2	\$3.12	0	6,24
595-CSD18510KCS	CSD18510KCS / MOSFET GEN1.4 40V-20V	4	\$2.02	0	8,08
530-5TT3-R	530-5TT3-R / Cartridge Fuses Fuse	4	\$0.28	0	1,12
693-0751.0508	0751.0508 / Fuse Clips CSO CLIP SOLDER THT 1503 VDC/VAC, 32A	4	\$0.70	0	2,8
651-3045143	3045143 / DIN Rail Terminal Blocks UT 4 BK FEEDTHRU TERM BLOCK	10	\$1.28	0	12,8
651-3045127	3045127 / DIN Rail Terminal Blocks UT 4 RD FEEDTHRU TERM BLOCK	10	\$1.28	0	12,8
651-3045130	3045130 / DIN Rail Terminal Blocks UT 4 WH UNIVERSAL TERM BLK WHITE	5	\$1.39	0	6,95
651-3045156	3045156 / DIN Rail Terminal Blocks UT 4 GN UNIVERSAL TERM BLK GREEN	5	\$1.32	0	6,6
	StarTech.com 2inx1in Open Slot Wiring Cable Raceway Duct with Cover	1	\$16.45	2,55	16,45
	Dinkle DSS4N-02P DIN Rail Terminal Block Press-Fit Jumper DK4N Two Pole, Pack of 50	1	\$29.32	0	29,32
	DROK Accurate Voltmeter Ammeter DC4.5-30V Voltage Current Meter 2-in-1 Digital Multimeter 10A Volt Amp Tester Meter with 3 Wires 0.28 " Dual LED Display	3	\$10,19	0	30,57
SENS LC12-501-2	SENS LC12-501-2: 12 Volt Engine Start Battery Charger w/ cord	1	\$289.00	52,95	295,99
8G30H	MK Deka Battery 8G30H > 12 Volt 97 Amp Hour GEL Battery	1	\$239.00	49,99	281,64
709-SD50A-24	SD-50A-24 / Isolated DC/DC Converters 50.4W 24V 2.1A Input 9.2-18VDC	1	\$29.62	4,99	29,62

709-SD50A-5	SD-50A-5 / Isolated DC/DC Converters 50W 5V 10A Input 9.2-18VDC	1	\$29.62	3,49	29,62
TRACO POWER	Isolated DC/DC Converters 9-18Vin 24Vout 375mA 9W SIP Iso DC/DC	1	\$35.23	6,69	35,23
280-CR15-1.0K-RC	280-CR15-1.0K-RC / Wirewound Resistors - Through Hole 1.0Kohms 5% Tol	2	\$0.89	0	1,78
280-CR15-620-RC	280-CR15-620-RC / Wirewound Resistors - Through Hole 620ohms 5% Tol	2	\$0.89	0	1,78
967-LS20015	LS200-15 / Switching Power Supplies 201W 15V 13.4A AC-DC 115-230VAC	1	\$58.33	8,99	58,33
571-1986164-3	1986164-3 / Hook-up Wire 10 AWG SOLAR CABLE PRICE PER FT, 1000	10	\$0.95	0	9,5
621-ZXGD3112N7TC	ZXGD3112N7TC / Gate Drivers 400V Active OR- ING Fet Ctrl -3mV 25Vcc	4	\$2.65	0	10,6
845-1BU20R	1BU20R / Circuit Breakers 20A B Characteristic UL 1077 1 POLE	1	\$11.12	0	11,12
845-1DU10R	1DU10R / Circuit Breakers 10A D Characteristic UL 1077 1 POLE	3	\$11.12	0	33,36
845-1DU4R	1DU4R / Circuit Breakers 4A D Characteristic UL 1077 1 POLE	1	\$11.12	0	11,12
845-1DU2R	1DU2R / Circuit Breakers 2A D Characteristic UL 1077 1 POLE	1	\$11.12	0	11,12
845-1DU10R	1DU10R / Circuit Breakers 10A D Characteristic UL 1077 1 POLE	1	\$11.12	0	11,12
845-1DU3R	1DU3R / Circuit Breakers 3A D Characteristic UL 1077 1 POLE	1	\$11.12	0	11,12
651-3045143	3045143 / DIN Rail Terminal Blocks UT 4 BK FEEDTHRU TERM BLOCK	6	\$1.32	0	7,92
651-3045127	3045127 / DIN Rail Terminal Blocks UT 4 RD FEEDTHRU TERM BLOCK	6	\$1.35	0	8,1
651-3047028	Terminal Block Tools & Accessories D-UT 2.5/10 COVER	10	\$0.61	0	6,1
530-FC-203BRIGHTTIN	FC -203 bright tin / Fuse Clips	4	\$0.10	0	0,4
80- C2220C476M3R2AUTO	C2220C476M3R2CAUTO / Multilayer Ceramic Capacitors MLCC - SMD/SMT 25V 47uF X7R 20% Dbl Stack AEC-Q200	4	\$5.61	0	22,44
9433310	Solarland SLP045-12U Silver Poly Solar Panel	1	\$117.45	25	117,45
GENASUN GV-5-PB- 12V	MPPT	1	\$67,5	5	67,5
9433224	Solarland SLB-0103 - Universal Tilt Mount Bracket	1	\$51.74	10	51,74
				TOTAL	1436

6. SEGURIDAD Y ASPECTOS ÉTICOS

Al rediseñar el sistema de alimentación de reserva para la torre meteorológica, el equipo se enfrentó a tres preocupaciones principales de seguridad relacionadas con la administración del suministro de energía al sistema y la realización de conexiones desde los nudos para proporcionar los voltajes adecuados a cada una de las cargas. También entraron en juego tres cuestiones éticas principales que incluyen la mejora de la vida útil de las baterías utilizadas, la calificación del equipo y las mediciones realizadas para calcular la duración de una batería completamente cargada. El equipo estaba protegido contra riesgos eléctricos al colocar múltiples interruptores automáticos en todo el sistema. Los interruptores se colocaron como se muestra en el diagrama unifilar de la instalación, figura 2. Para evitar el riesgo de manipular o modificar accidentalmente el sistema mientras estaba encendido, siempre se abrían los interruptores antes de realizar cualquier modificación en el sistema. El segundo problema de seguridad tenía que ver con los distintos cables del todo el sistema y las conexiones múltiples que debían realizarse desde el mismo cable. Los cables estaban ocultos debajo de un conducto con una cubierta para evitar daños y cortocircuitos. En lugar de conectar un cable a múltiples componentes, el cable se conectó a un bloque de terminales que posteriormente se conectaban a cada uno de los componentes. Esto evita golpear accidentalmente un cable con corriente y causarnos lesiones o dañar el sistema.

Al hacer que el sistema se ejecute desde el principal en lugar de funcionar constantemente desde la batería como lo hace actualmente BP, la vida útil de la batería de 108Ah se ampliará en gran medida reduciendo los desechos creados por las baterías de plomo-ácido. Aunque las baterías se pueden reciclar, mientras más tiempo se puedan usar, mayor es la mejora para el medioambiente y para los gastos de la compañía, especialmente considerando que las baterías se usan en una aplicación de energía renovable. El dimensionamiento adecuado de los componentes era un problema ético, ya que el diseño debía realizarse con una representación lo más cercana posible a 1: 1. Esto requirió una extensión del presupuesto para comprar el equipo que BP ya tenía en su diseño actual. Al hacerlo, pudimos proporcionar expectativas más precisas del sistema y simular una operación real. Las mediciones tomadas de la batería de 108Ah también se hicieron con ética en mente, ya que la duración de la batería se podía hacer con valores hipotéticos para lograr una estimación. En cambio, la salida de la batería se conectó a cargas con lecturas en vivo del voltaje y la corriente para los tres voltajes diferentes. Una pantalla de carga de la batería también proporcionaba lecturas de la batería para ver qué voltaje y corriente se proporcionaban antes del ATS. A partir de estas lecturas, se obtuvo una

mayor certeza en el cálculo de la duración de la energía de respaldo de la batería de 108 Ah totalmente cargada para garantizar un funcionamiento completo durante al menos 48 horas.

7. CONCLUSION

El diseño cumple con todas las especificaciones estipuladas para este proyecto. Proporciona todas las fuentes de tensión necesarias (5 V, 12 V y 24 V) y las mantiene durante un tiempo mínimo de 48 horas cuando se produce una pérdida de potencia principal. El sistema alterna sin problemas entre las fuentes de alimentación con un tiempo de inactividad mínimo utilizando un interruptor de transferencia que consta de diodos. Cuando no está en funcionamiento, la batería principal de reserva tiene su carga mantenida por la fuente de alimentación principal, sin descargarse hasta que se produce un fallo en el sistema principal, alargando la vida útil de la batería. También agregamos un panel solar al sistema, fuera del alcance original del proyecto, que agrega una fuente de reserva adicional al diseño que aumenta el tiempo de operación durante los períodos de inactividad. El proyecto también tiene espacio para crecer y mejorar: los diodos en el diseño son una alternativa menos eficiente a los MOSFET que pueden funcionar de la misma manera que los diodos. Además, la telemetría en el sistema actual es totalmente local y se puede ampliar para enviar datos a un servidor remoto u otra forma de sistema de recopilación de datos. En general, nuestro grupo diseñó, creó y probó con éxito un sistema que funcionaba plenamente y que cumplía los objetivos del proyecto, dejando espacio para posibles desarrollos futuros.

8. REFERENCIAS

[1] “Convertidor Boost” En Wikipedia. Recuperado el 23 de julio de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

[2] [1] “Convertidor Buck” En Wikipedia. Recuperado el 23 de julio de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

[3] “El diodo” En Electrónica aplicada por Omarai. Recuperado el 23 de julio de 2018 de

<https://omarai.wordpress.com/conceptos-teoricos/semiconductores/el-diodo/>

ANEXOS:

A. FICHAS TÉCNICAS

i. Transformador

TDK-Lambda

LS200 Series

150-200W Single Output General Purpose Power Supplies

Features

- ◆ Very low cost
- ◆ Small Size
- ◆ Wide Range AC Input
- ◆ Convection or Fan Cooled
- ◆ Five year warranty
- ◆ 1.6" high (For 1U racking)



Key Market Segments & Applications



Specifications		LS200 (Enclosed style with internal fan)	LS200/L (U channel style - no internal fan)
Model		LS200 (Enclosed style with internal fan)	LS200/L (U channel style - no internal fan)
AC Input Voltage (300VAC for 5s)	VAC	85 - 264VAC	85 - 264VAC (3)
Input Frequency	Hz	47 - 63Hz	
DC Input Voltage	VDC	120 - 373VDC*	
Inrush Current (230VAC, cold start)	A	60	
Power Factor	-	Meets EN61000-3-2, -3 (Typical PF 0.98/0.95)(1)	
Input Current (115/230VAC)	A	3.5 / 1.7 (typical)	
Temperature Coefficient	-	<0.02%/°C (0 - 50°C)	
Overcurrent Protection	-	>105% of nominal or peak. Constant current style	
Overvoltage Protection (2)	V	3.3V: 3.8 - 4.45V, 5V: 5.75 - 6.75V, 7.5V: 8.6 - 10.1V, 12V: 15.1 - 17.75V 15V: 17.25 - 20.25V, 24V: 30.25 - 35.5V, 36V: 41.4 - 48.6V, 48V: 60 - 69.6V	
Overtemperature Protection (2)	-	Yes	
Hold Up Time (115/230V input)	ms	20ms	
Leakage Current (230VAC 60Hz)	mA	<1mA	
Remote Sense	-	Yes	
Remote On/Off	-	On: 0 - 0.8V; Off: 3 - 12V	
LED Indicator	-	Green LED = On	
Operating Temperature	°C	Fan or forced air rating: -25 to +70°C. Derate linearly to 60% load from +50 to +70°C	
Storage Temperature	°C	-40 to +85°C	
Operating Humidity	-	20 - 90% RH (non condensing)	
Storage Humidity	-	10 - 95% RH (non condensing)	
Cooling	-	Internal Fan (air exhausts from fan end)	Convection or customer supplied airflow
Withstand Voltage	-	Input to Ground 1.5kVAC, Input to Output 3kVAC, Output to Ground 500VAC for 1 min.	
Isolation Resistance	-	>100M at 25°C & 70%RH, Output to Ground 500VDC	
Vibration (non operating)	-	10 - 55Hz: 19.6m/s ² constant sweep 1 min X, Y, Z for 1 hour	
Shock	-	< 196.1 m/s ² (20G)	
Immunity	-	IEC61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -8, -11	
Safety Agency Approvals	-	UL /CSA (cUL) /IEC 60950-1 (2nd Ed), CE Mark (Additionally evaluated to EN 60950-1)	
Conducted & Radiated EMI	-	EN55011/EN55022-B, FCC-B	
Weight (Typ)	g	700	600
Size (LxWxH)	in	7.8 x 3.9 x 1.61"	
Warranty	yrs	Five Years	

Notes:

- (1) 115 / 230VAC input
- (2) Recycle AC to reset
- (3) (Derate linearly to 65% load from 115VAC to 85VAC)

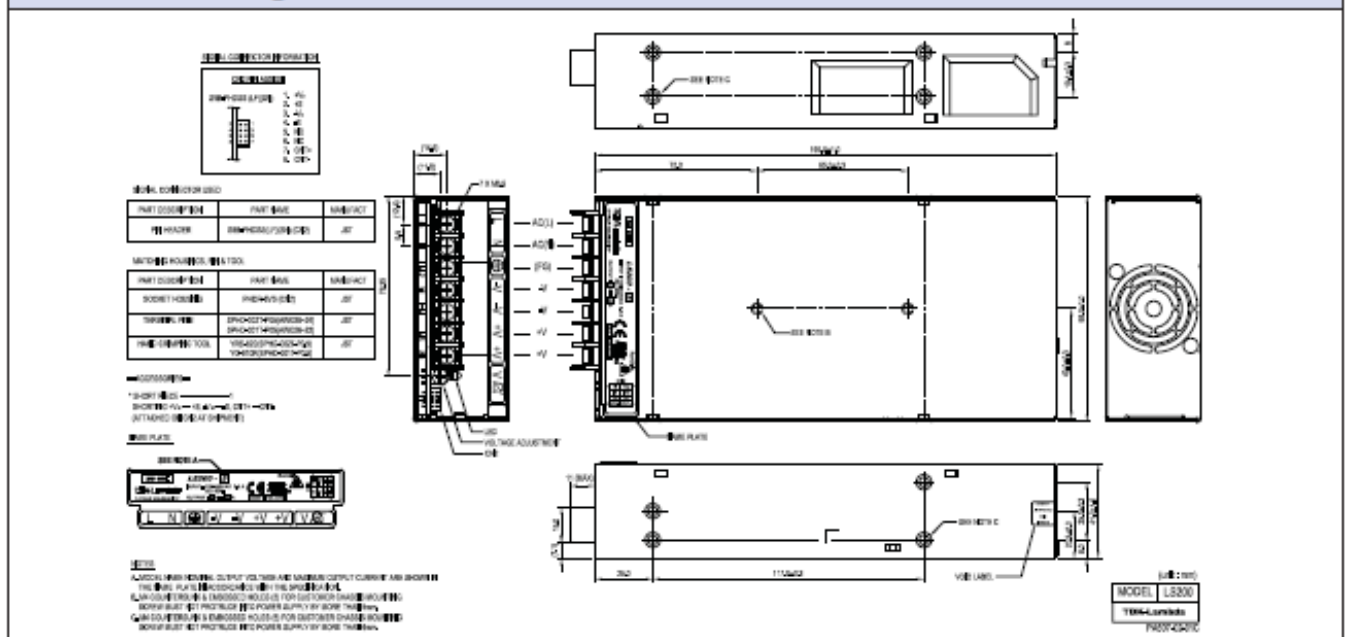
*Safety certified for AC input only

Output Ratings

Model	Voltage	Adjust Range (V)	Max Current Forced Air(A) ⁽⁴⁾	Max Current Convect.(A) ⁽⁵⁾	Peak Current (A)	Load Reg (mV)	Line Reg (mV)	Ripple Noise (mV)	Efficiency (typ) % ⁽¹⁾
LS200-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	40.0	N/A	-	40	16	80	67 / 68
LS200-5	5V	4.75 - 5.5	40.0	N/A	-	40	20	80	72 / 75
LS200-7.5	7.5V	6.8 - 8.2	26.7	N/A	-	40	20	80	74 / 77
LS200-12	12V	10.8 - 14.4	16.7	N/A	-	96	48	120	76 / 79
LS200-15	15V	13.5 - 16.5	13.4	N/A	-	120	60	120	80 / 83
LS200-24	24V	22 - 28.8	8.4	N/A	10.4	192	96	120	82 / 84
LS200-36	36V	32 - 40	5.6	N/A	6.9	288	144	150	82 / 85
LS200-48	48V	42 - 57.6	4.2	N/A	-	384	192	200	82 / 85
LS200-3.3/L	3.3V	3.0 - 3.6	40.0	26	-	40	16	80	67 / 68
LS200-5/L	5V	4.75 - 5.5	40.0	26	-	40	20	80	72 / 75
LS200-7.5/L	7.5V	6.8 - 8.2	26.7	17.3	-	40	20	80	74 / 77
LS200-12/L	12V	10.8 - 14.4	16.7	11.6	-	96	48	120	76 / 79
LS200-15/L	15V	13.5 - 16.5	13.4	9.3	-	120	60	120	80 / 83
LS200-24/L	24V	22 - 28.8	8.4	5.8	10.4	192	96	120	82 / 84
LS200-36/L	36V	32 - 40	5.6	3.9	6.9	288	144	150	82 / 85
LS200-48/L	48V	42 - 57.6	4.2	2.9	-	384	192	200	82 / 85

Notes
 (4) With internal fan version LS200-xx or LS200-xx/L version with external airflow.
 (5) See Installation manual for derating curve.

Outline Drawing



Other Related Products

LS25 - 150	25W to 150W low cost
HWS15 - 1800	15W to 1800W limited lifetime warranty
SWS300 - 1000	300 to 1000W single output

Options

Suffix	Description
/L	No cover or fan (U channel)
Blank	Cover and fan

For Additional Information, please visit
us.tdk-lambda.com/lp/products/lis-series.htm



ii. Cargador Batería

LC – Premium Performance at a Low Cost Engine Start Battery Charger



- Accurate charging - delivers best battery performance and battery life in class
- Automatic 2-rate charging - offers fast charging and low water consumption
- Temperature compensation - eliminates the No. 1 cause of battery failure
- Current limited - protects charger from overloads
- Anodized aluminum housing - resists corrosion, runs cool

CALL MURCAL TO PLACE YOUR ORDER

Murcal

F:8001272-4700 F:8001847-7570
www.murcal.com e-mail:sales@murcal.com



SENS
Our energy means business®

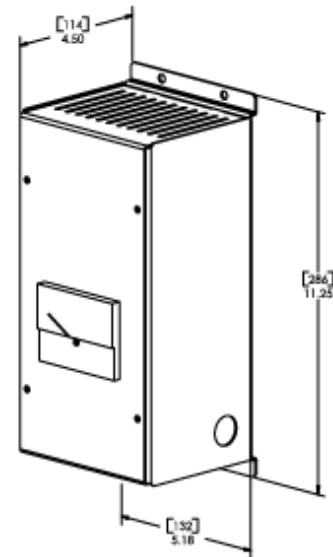
LC Charger Specifications

AC Input	120 VAC, 60 Hz
Charger Output	12 or 24 volts nominal. 3.5 amp electronic current limit. Dual-rate, temperature compensated charge characteristic. Line regulation $\pm 1\%$ of the correct temperature compensated value. Load regulation $\pm 1\%$ of the correct temperature compensated value.
Indication	Output ammeter, 2.5" scale 5% accuracy
Adjustment	Internal adjustment for float voltage. Equalize voltage is fixed approximately 5% above float
Protection	Electronic current limit (no crank disconnect required). AC input fuse, DC over current limiter
Environmental	-10C to +50C operating temperature. 5% to 95% humidity, non-condensing
Mechanical	Clear anodized aluminum, wall mounting
Agency compliance	C-UL-US listed to UL 1236 (required for UL 2200 gensets)

LC Charger Ordering Information

Output Volts	Output Amps	Model Number	Net Lbs	Weight Kg	Power Cord*
12	3.5	LC12-500-2	7	3.1	No
24	3.5	LC24-500-2	8	3.6	No
12	3.5	LC12-501-2	7	3.1	Yes
24	3.5	LC24-501-2	8	3.6	Yes

*Six-foot 15A three-pronged AC power cord for 120 VAC and six-foot DC power cord terminated with Anderson 1327 (red,positive) and Anderson 1327G6 (black,negative) connectors.



Additional Information

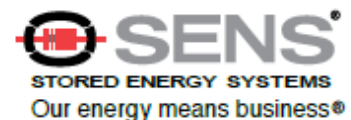
Contact SENS or your local sales representative for additional specification, engineering and installation information. Check the SENS website for the latest available data. Specifications are subject to change without notice.



CALL MURCAL TO PLACE YOUR ORDER



P:(661)272-4700 F:(661)947-7570
www.murcal.com e-mail:sales@murcal.com



Contact Information

8G30H-DEKA

SPECIFICATIONS

Nominal Voltage (V)	12V
Capacity at C/100	108Ah
Capacity at C/20	97.6Ah
Weight	68.5 lbs. (31 kg)
Plate Alloy	Lead Calcium
Posts	Forged Terminals & Bushings
Container/Cover	Polypropylene
Operating Temperature Range	-76°F (-60°C) - 140°F (60°C)

For Charging Parameters please refer to www.mkbattery.com
Click on Technical Data, then on Photovoltaic Charging Parameters in the PV/Solar section

Vent	Self-sealing
Electrolyte	Sulfuric acid thixotropic gel
Terminal	B (T876)



Rated non-spillable by ICAO, IATA and DOT

Made in the U.S.A. by East Penn Manufacturing Co, Inc.

Distributed by:

Valve-Regulated, Gelled-Electrolyte Battery

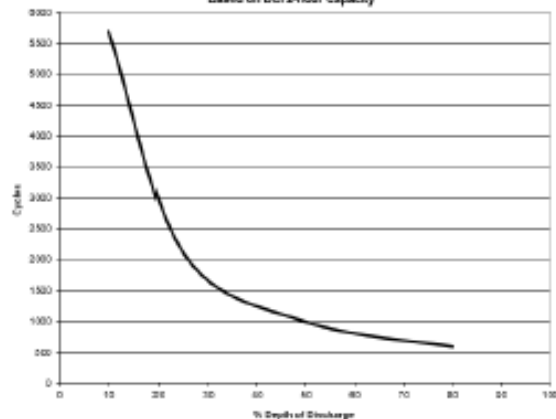


DIMENSIONS

Inches (mm)

Length	12.93 (328 mm)
Width	6.74 (171 mm)
Height	9.75 (248 mm) including terminal

Gel Cycle Life vs Depth of Discharge at 25°C (77°F)
Based on BC12-hour Capacity



MK Battery

1631 South Sinclair Street • Anaheim, California 92806
Toll Free: 800-372-9253 • Fax: 714-937-0818 • E-mail: sales@mkbattery.com



iv. Panel Solar

SLP045-12U

High Efficiency Multicrystalline PV Module

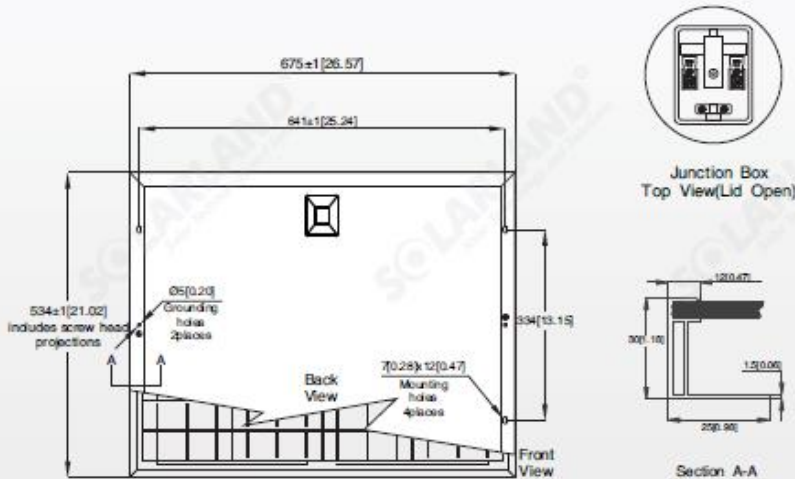
Electrical Characteristics	SLP045-12U
Product code	045011203A
Maximum power (Pmax)	45W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.2V
Current at Pmax (Imp)	2.62A
Open-circuit voltage (Voc)	21.6V
Short-circuit current (Isc)	2.92A
Temperature coefficient of Voc	-0.010mV/°C
Temperature coefficient of Isc	(0.065±0.015)%/°C
Temperature coefficient of power	-0.5±0.05%/°C
NOCT (At 20°C, Sun 0.8kW/m ² wind 1m/s)	47±2°C
Operating temperature	-40°C to 85°C
Maximum system voltage	1000V DC
Power tolerance	± 5%

*STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C
 *NOCT: Nominal operating cell temperature (the data is only for reference)



Module Diagram

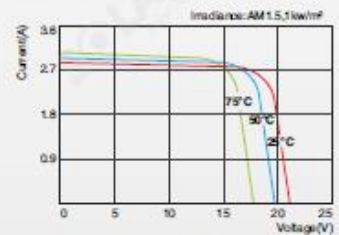
Dimensions in brackets are in inches.
 Un-bracketed dimensions are in millimeters.
 Unit: mm[in.]



Features

- Nominal 12V DC for standard output.
- Outstanding low-light performance.
- Heavy-duty anodized frames.
- High transparent low-iron, tempered glass.
- Rugged design to withstand high wind pressure, hail and snow load.
- Aesthetic appearance.

Characteristics



SLP045-12U I-V Curves

Specifications	SLP045-12U
Cells	Polycrystalline silicon solar cell
No. of cells and connections	36(4X9)
Module dimension	534mm(21.02in.)x675mm(26.57in.)x30mm(1.18in.)
Weight	4.65kg(10.25lbs)
Packing information(Carton)	690mm(27.17in.)x180mm(7.09in.)x555mm(21.85in.)(5 pcs/ctr)

*Limited warranty: 5-year limited warranty of materials and workmanship; 10-year limited warranty of 90% power output; 25-year limited warranty of 80% power output. For detail, please contact us.
 *Specifications are subject to change without notice at any time.

Reliability & efficiency down to a science.

Marine | RV | Industrial | Military | Street Lighting | Off-Grid

Get your money's worth with Genasun. The Genasun GV-5 MPPT controller sets a new standard for reliability. This 65W 5A 4-stage 12V battery charging MPPT solar charge controller with 99.85% peak efficiency extracts more power from any given panel than a PWM controller. And though PWMs may offer a lower controller cost, Genasun MPPT controller delivers more power - reducing the cost per watt by 10% - 30% and giving you more bang for your buck. Oh, and its ceramic capacitors will never wear out, allowing us to offer an industry-leading 10 year warranty.



GV-5

5A @ 12V MPPT 65W

Take advantage of Genasun's advanced MPPT technology and enjoy more reliable power from smaller panels.



+10%

additional power
in the summer
No panel is too
hot to handle.



+30%

more power on
those shorter,
colder winter days.



+50%

increase in
energy harvest
from partially
shaded panels.

Typical power gains from Genasun MPPT controllers vs the best PWM controllers available.

99.85% peak efficiency •

Electrolytic-free, ceramic capacitors •

Ultra-fast true MPP Tracking •

Excellent low-light performance •

Compact for easy installation •

Great for lithium batteries •



www.genasun.com Sold through Blue Sky Energy
(760) 597-1642 sales@blueskyenergyinc.com

Specifications:

GV-5-Pb-12V

GV-5-Li-**. *V

Maximum Recommended Panel Power:	65W	GV-5-Li-10.7V	50W
		GV-5-Li-10.7V-SP	20W
		GV-5-Li-12.5V	55W
		GV5-Li-14.2V	65W
		GV5-Li-16.7V	75W
Rated Battery (Output) Current:	5A	5A (-SP model: 2A)	
Nominal Battery Voltage:	12V	N/A	
Max Input Voltage:	27V	27V	
Recommended Max Voc at STC:	22V	22V	
Minimum Battery Voltage for Normal Operation:	7.2V	7.2V	
Trickle Charge to Recover Dead (0V) Battery:	Yes	Yes	
Input Voltage Range:	0-27V	0-27V	
Maximum Input Short Circuit Current*:	5A	5A (-SP model: 2A)	
Continuous Rated Load Current:	5A	5A	
Maximum Input Current**:	9A	9A	
Charge Profile:	Multi-Stage with Temperature Compensation	CC-CV	
Absorption Voltage:	14.2V	-	
Absorption Time:	2 hours	-	
Float Voltage (Pb models) or CV Voltage (Li models):	13.8V	GV-5-Li-10.7V (-SP)	10.7V
		GV-5-Li-12.5V	12.5V
		GV5-Li-14.2V	14.2V
		GV5-Li-16.7V	16.7V
Load (LVD) Disconnect/Reconnect Voltage:	11.4/12.5 V	GV-5-Li-10.7V (-SP)	8.2/9.0 V
		GV-5-Li-12.5V	9.3/10.5 V
		GV5-Li-14.2V	11.0/12.0 V
		GV5-Li-16.7V	12.4/14.0 V
Battery Temperature Compensation:	-28mV/°C	-	
Operating Temperature:	-40°C - 85°C		
Maximum Full Power Ambient:	50°C		
Electrical Efficiency:	96% - 99.85% typical	94% - 99.85% typical	
Tracking Efficiency:	99+% typical		
MPPT Tracking Speed:	15Hz		
Operating Consumption:	0.150mA (150uA)		
Night Consumption:	0.125mA (125uA)		
Environmental Protection:	IP40, Conformal Coating, Nickel-Plated Brass & Stainless Hardware		
Connection:	6-position terminal block for 12-30AWG wire		
Weight:	2.8 oz., 80 g		
Dimensions:	4.3 x 2.2 x 0.9", 11 x 5.6 x 2.5 cm		
Warranty:	10 years		

*Panel Isc. Maximum input power and maximum input voltage requirements must also be respected.

**Maximum current that the controller could draw from an unlimited source.

Certifications:

vi. Bateria 12V 18AH



EXP12180 12V18AH

Sealed Lead Acid Battery

EXP12180 Series--Small-size batteries

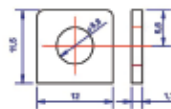
- 100% before shipment testing, stable and reliable long-term quality
- patented grid alloy formula and updated manufacturing technique
- completely sealed and maintenance-free, low self-discharge
- Excellent charging and re-charging acceptance
- Cycle use: More than 260 cycles at 100% DOD
- Floating & standby use: 3-5 years

Application:

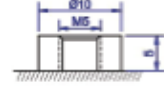
- Alarm System
- Cable Television
- Communication Equipment
- Emergency Power System
- Security System
- Medical Equipment
- UPS
- Power tools
- Control Equipment
- Toys

Construction:

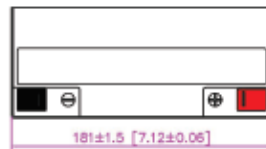
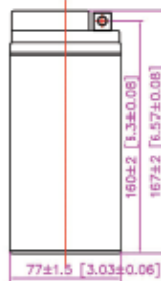
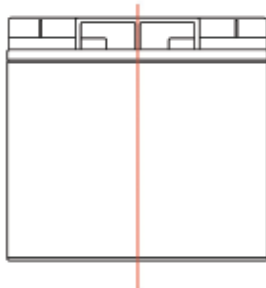
- ComponentRaw material
- PositiveLead dioxide
- NegativeLead
- ContainerABS
- CoverABS
- SealantEpoxy
- Safety valve Rubber
- TerminalCopper
- SeparatorFiber glass
- ElectrolyteSulfuric acid



M5 Bolt & Nut
T1 Terminal



M5 Bolt
B1 Terminal

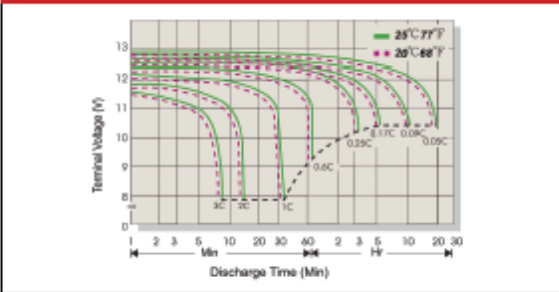


Specification:

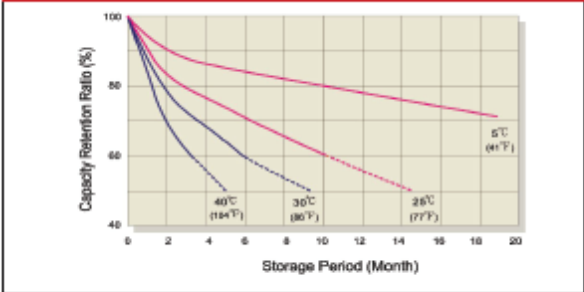
Battery Model	EXP12180 12V18AH			
Designed Floating Life	3~5 Years			
Capacity (25°C)	20HR(0.90A,10.5V)	10HR(1.73A,10.5V)	5HR(3.24A,10.5V)	1HR(10.85A,10.5V)
	18.00AH	17.30AH	16.20AH	10.85AH
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	181mm (7.12inch)	77mm (3.03inch)	160mm (6.30inch)	167mm (6.57inch)
Approx. Weight	5.30Kg (11.68 lbs) ±5%			
Internal Resistance	Full charged at 25°C : ≤12.0mΩ			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (25°C)			
Capacity Affected by Temp.(20HR)	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
Charge Voltage(25oC)	Cycle use		Float use	
	14.4-15.0V(-30mV/°C), max. Current: 5.4A		13.5-13.8V (-20mV/°C)	

V0 2012-2-16

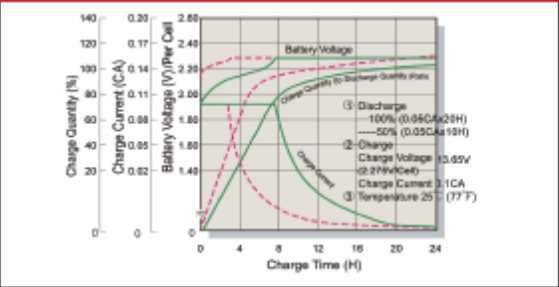
Terminal Voltage (V) and Discharge Time



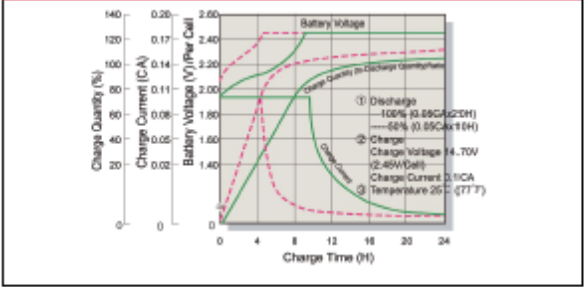
Capacity Retention Characteristic



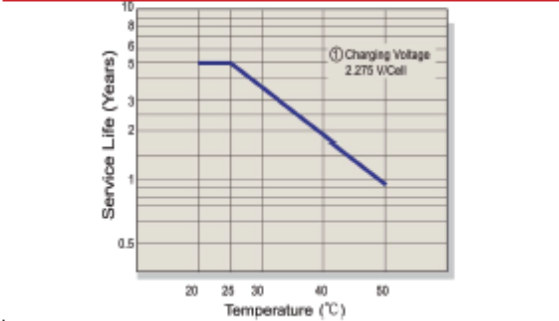
Battery Voltage and Charge Time for Standby Use



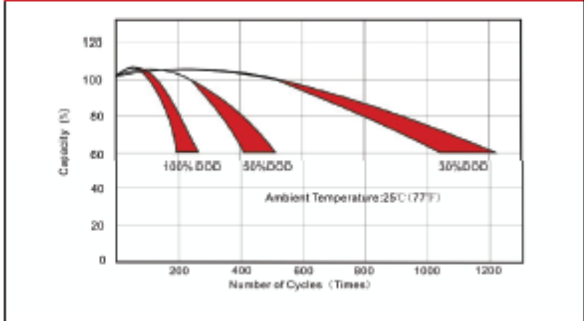
Battery Voltage and Charge Time for Cycle Use



Tickle(or Float) Service Life



Cycle Service Life



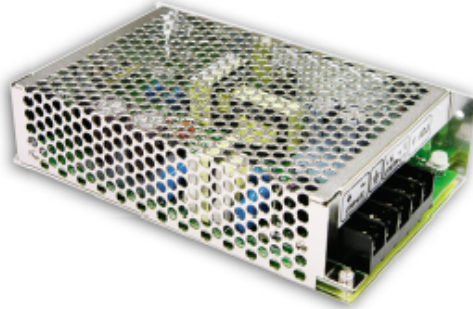
Constant Current Discharge (CC, Unit: A) at 25°C (77°F)												
F.V/Time	5Min	10Min	15Min	30Min	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr	6Hr	10Hr	20Hr
1.85V/Cell	59.18	34.94	28.46	17.90	10.45	6.04	4.64	3.808	3.120	2.544	1.668	0.867
1.80V/Cell	60.31	35.60	28.98	18.24	10.65	6.15	4.73	3.880	3.180	2.592	1.700	0.883
1.75V/Cell	61.44	36.27	30.51	18.58	10.85	6.27	4.81	3.953	3.239	2.641	1.732	0.900
1.70V/Cell	66.97	38.45	32.22	19.32	11.04	6.38	4.90	4.023	3.296	2.687	1.762	0.916
1.67V/Cell	73.73	41.71	34.78	20.40	11.15	6.45	4.95	4.066	3.332	2.716	1.781	0.926
1.60V/Cell	79.87	43.89	35.90	21.28	11.27	6.52	5.00	4.110	3.368	2.745	1.800	0.936
Constant Power Discharge (CP, Unit: W) at 25°C (77°F)												
F.V/Time	5Min	10Min	15Min	30Min	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr	6Hr	10Hr	20Hr
1.85V/Cell	115.40	68.12	53.54	34.90	20.37	11.77	9.04	7.43	6.08	4.96	3.25	1.69
1.80V/Cell	117.61	69.43	54.57	35.57	20.76	12.00	9.21	7.57	6.20	5.05	3.31	1.72
1.75V/Cell	119.81	70.73	55.59	36.24	21.15	12.22	9.39	7.71	6.32	5.15	3.38	1.76
1.70V/Cell	130.59	74.97	58.92	37.68	21.52	12.44	9.55	7.84	6.43	5.24	3.44	1.79
1.67V/Cell	143.77	81.34	63.93	39.79	21.75	12.57	9.66	7.93	6.50	5.30	3.47	1.81
1.60V/Cell	155.76	85.58	67.26	41.49	21.99	12.71	9.76	8.01	6.57	5.35	3.51	1.82

vii. Convertidores DC-DC



50W Single Output DC-DC Converter

SD-50 series



■ Features :

- 2:1 wide input range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
- 1500VAC I/O isolation
- Built-in EMI filter, low ripple noise
- 100% full load burn-in test
- Fixed switching frequency at 83KHz
- Low cost
- High reliability
- 2 years warranty

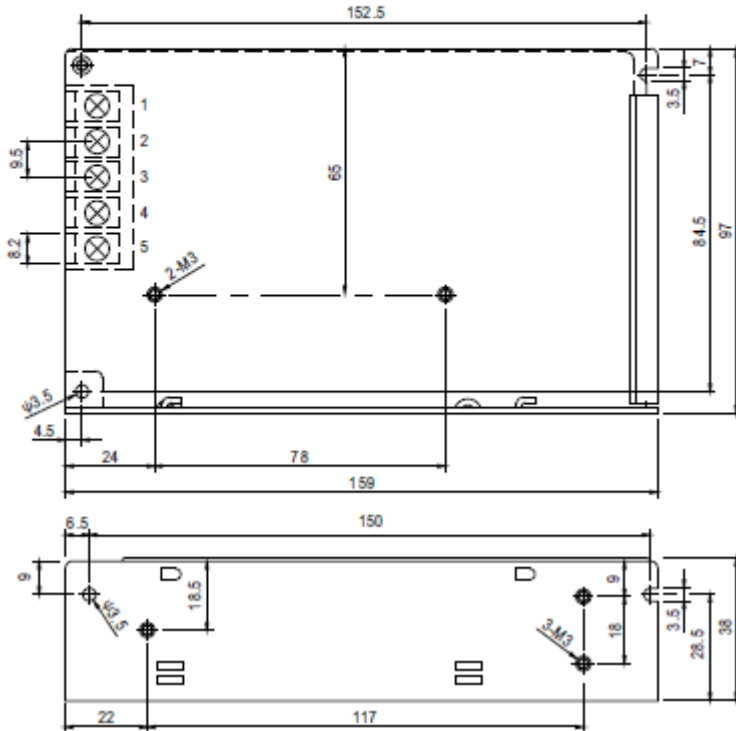


SPECIFICATION

MODEL		SD-50A-5	SD-50B-5	SD-50C-5	SD-50A-12	SD-50B-12	SD-50C-12	SD-50A-24	SD-50B-24	SD-50C-24
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V			12V			24V		
	RATED CURRENT	10A			4.2A			2.1A		
	CURRENT RANGE	0 ~ 10A			0 ~ 4.2A			0 ~ 2.1A		
	RATED POWER	50W			50.4W			50.4W		
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	100mVp-p			120mVp-p			150mVp-p		
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.5VDC			11 ~ 16VDC			23 ~ 30VDC		
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%			±1.0%			±1.0%		
	LINE REGULATION	±0.5%			±0.3%			±0.2%		
	LOAD REGULATION	±0.5%			±0.3%			±0.2%		
SETUP, RISE, HOLD UP TIME	2.5s, 50ms, ----- at full load									
INPUT	VOLTAGE RANGE	A:9.2 ~ 18VDC		B:19 ~ 36VDC		C:36 ~ 72VDC				
	EFFICIENCY (Typ.)	70%	73%	76%	72%	75%	78%	74%	80%	83%
	DC CURRENT	7A/12V	3A/24V	1.5A/48V	7A/12V	3A/24V	1.5A/48V	7A/12V	3A/24V	1.5A/48V
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 150% rated output power Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed								
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V/10% load			16.8 ~ 20V/10% load			31.5 ~ 37.5V/10% load		
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-10 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")								
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing								
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH								
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)								
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1 cycle, 60min. each along X, Y, Z axes								
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	Design refer to LVD, EAC TP TC 004 approved								
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC								
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C/70% RH								
	EMC EMISSION	Compliance to EN55032 (CISPR32) Class B, EAC TP TC 020								
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,6,8, EN55024, heavy industry level, criteria A, EAC TP TC 020								
	MTBF	365.6K hrs min.(SD-50A)		357.5K hrs min.(SD-50B)		368.5K Hrs min.(SD-50C)		MIL-HDBK-217F (25°C)		
	DIMENSION	159*97*38mm (L*W*H)								
	PACKING	0.48Kg; 24pcs/12.7Kg/0.75CUFT								
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 12,24,48VDC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</p> <p>2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor.</p> <p>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p> <p>4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. All the EMC tests are been executed by mounting the unit on a 360mm*360mm metal plate with 1mm of thickness. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on http://www.meanwell.com)</p> <p>5. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).</p>									

Mechanical Specification

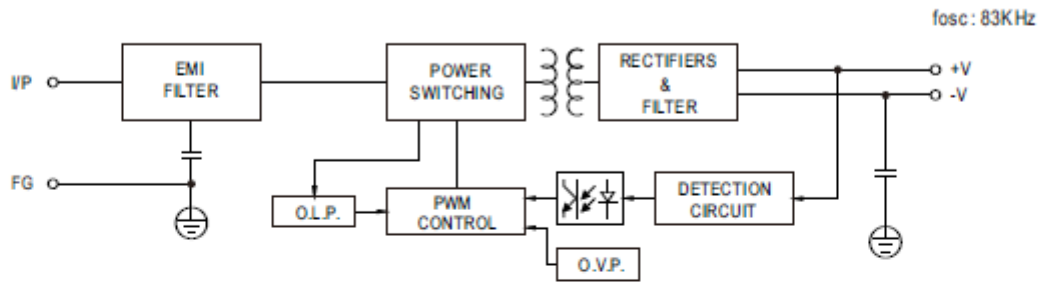
Case No. 901 Unit:mm



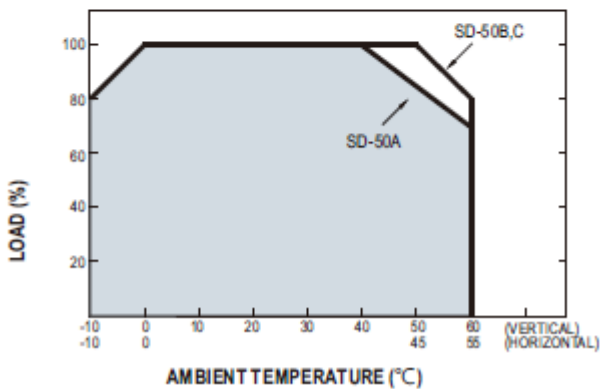
Terminal Pin No. Assignment

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	DC INPUT +V	4	DC OUTPUT -V
2	DC INPUT -V	5	DC OUTPUT +V
3	FG \downarrow		

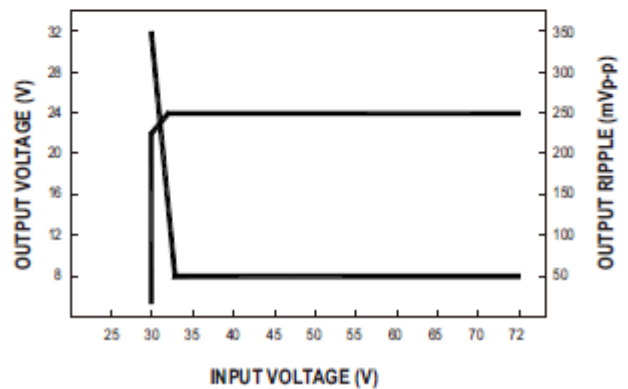
Block Diagram



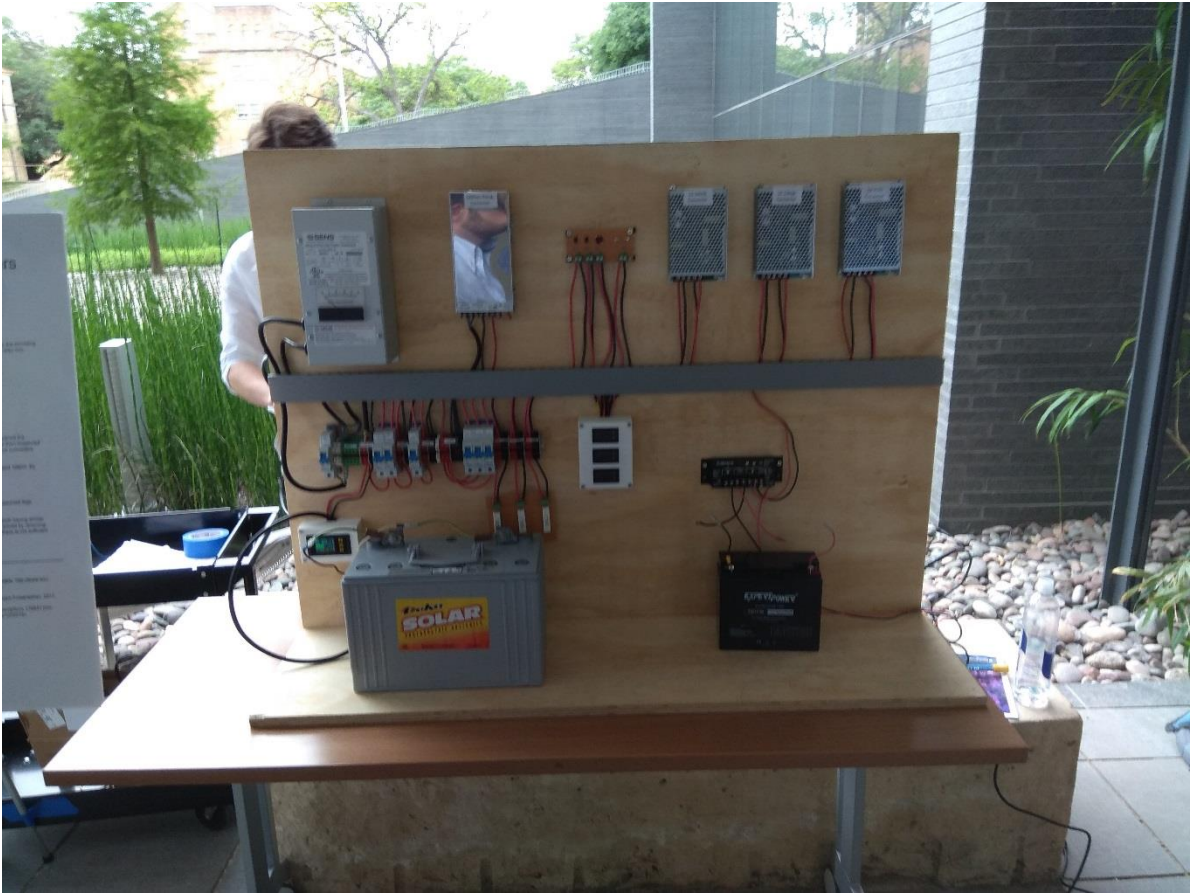
Derating Curve



Static Characteristics (SD-50C-24V)



B. FOTOS DEL PROTOTIPO



C. DISEÑO DE UN MPPT

Development of an MPPT algorithm to get the maximum power from a solar panel

The purpose of this project is to develop an MPPT (Maximum Power Point Tracker) algorithm that allow us to get the maximum output power from a solar panel. It is known that the output power of the solar panel depends on the voltage, so we need find out which is the optimal voltage. The I-V curve of a solar panel is not linear as it is shown in figure 1.

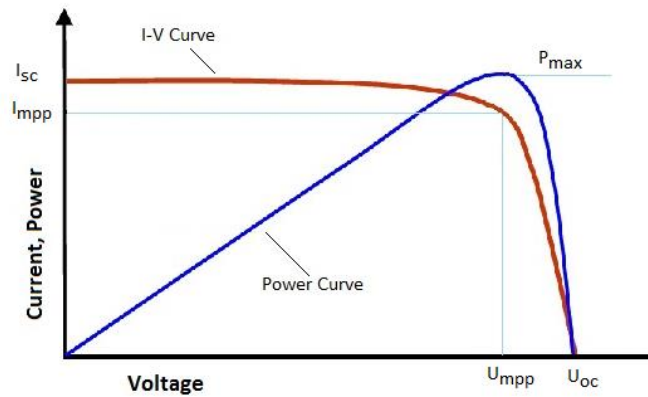


Figure 4 I-V & P-V solar panel characteristics

Because the solar insolation is constantly changing we need to adjust the optimal voltage every time. There are some other variables that also affect the output power of the solar panel, such as the day of the year, the hour and the panel angle respect the sun. That is why the MPPT algorithm must have a quick response to any change.

We will use MATLAB to perform the optimization. The idea is to change the solar conditions and make the MPPT to adjust the voltage to get maximum output power. To change the solar conditions, we will program a changing ramp that will change the solar insolation.

The main goal of this project will be to improve the efficiency of this algorithm. To do this we will build a solar panel model and try to maximize the output power for every situation.

We will use this model shown in figure 1 to simulate the solar panel. We will adjust the parameters of the solar panel to a 12V 45W solar panel. The datasheet can be found at the end of this document.

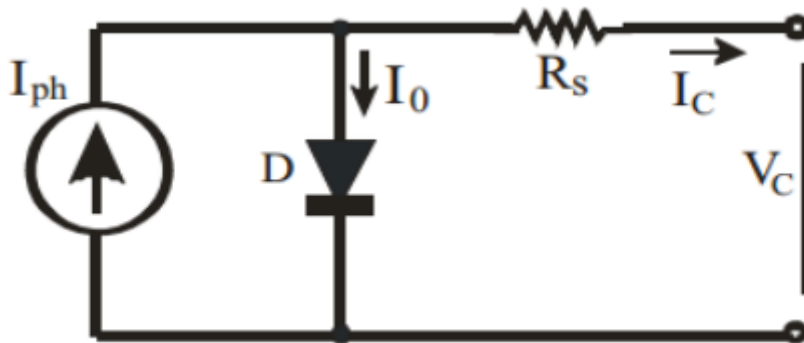


Figure 2 Solar panel model [1]

The variables are defined as follows:

- I_{ph} is the photo induced current, A
- I_0 is the diode current, A
- I_c is the operating current, A
- V_c is the operating voltage, V
- B is the solar irradiation in W/m^2
- T_c is the cell temperature (k),

The objective is to maximize the output power that is the product of I_c and V_c :

$$\forall I_c, \forall V_c, \max\{P(I_c, V_c) = I_c * V_c\} \quad (1)$$

We can use equation (5) to rewrite V_c in terms of I_c .

To find that maximum, we need to find a point that satisfies the first necessary condition:

$$\frac{\partial P}{\partial I_c} = 0 \quad (2)$$

The equality constrains are the following:

$$I_c = I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{q}{NkT_c} (V_c + R_s I_c) \right)} - 1 \right] \quad (3), \text{ where:}$$

q is the electron charge ($1.6021766208 \cdot 10^{-19}$ C),

I_0 is the reverse saturation current (0.002 A)

N is the diode ideality factor (1.4986),

K is the Boltzmann constant ($1.38064852 \times 10^{-23}$ J/k),

Tc is the cell temperature (k),

Rs is the series resistance (0.001 Ω)

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T_c - T_{ref})] \frac{B}{1000} \quad (4), \text{ where:}$$

Isc is the short-circuit current (2.92 A),

Tref is the reference temperature (293k),

Ki is the temperature coefficient of short-circuit current (0.00065 A/°C),

B is the solar irradiation (W/m²),

$$V_c = \frac{NKT_c}{q} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_c}{I_c}\right) - R_s * I_c \quad (5)$$

The inequality constrains are that all the variables must be positive:

$$I_{ph} \geq 0$$

$$I_c \geq 0$$

$$V_c \geq 0$$

$$I_{sh} \geq 0$$

In order to find a solution to our problem we need to find a solution to equation (2), but as it is non-linear, we have to use iterative methods. We propose a Newton-Raphson but, to do this we need to calculate first the derivative of (2). Then we can start solving the Newton-Raphson. Our initial value will be

$$I_c^{(0)} = 2 A \quad (6)$$

The general update is:

$$\Delta I_c^{(j)} = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial I_c^2} \right)^{-1} P_c(I_c^j) \quad (7)$$

$$I_c^{j+1} = I_c^j + \Delta I_c^{(j)} \quad (8)$$

The stop criteria used is

$$\frac{\partial P}{\partial I_c} \leq 0.01 \quad (9)$$

Although this criterion seems insufficient, it gives us enough good results, saving a lot of computational effort. Also, since we have estimated some parameters of the diode, we know we have some error introduced in our model. We have saved the values of power, voltage, and current per iteration so we can plot the curves P-V and I-V close to the maximum power point. We include also some constant power contours in the I-V curve. These constant power contours goes from 25 Watts to 60 Watts with an step of 5 Watts between each line.

Results:

Table 8

B (W/m ²)	Tc (°C)	Vc (V)	Ic (A)	P (W)
800	25	15.15	1.97	29.97
1000	25	15.74	2.48	39.05
1200	30	15.9	3.02	48.1
1400	35	16.05	3.57	57.29

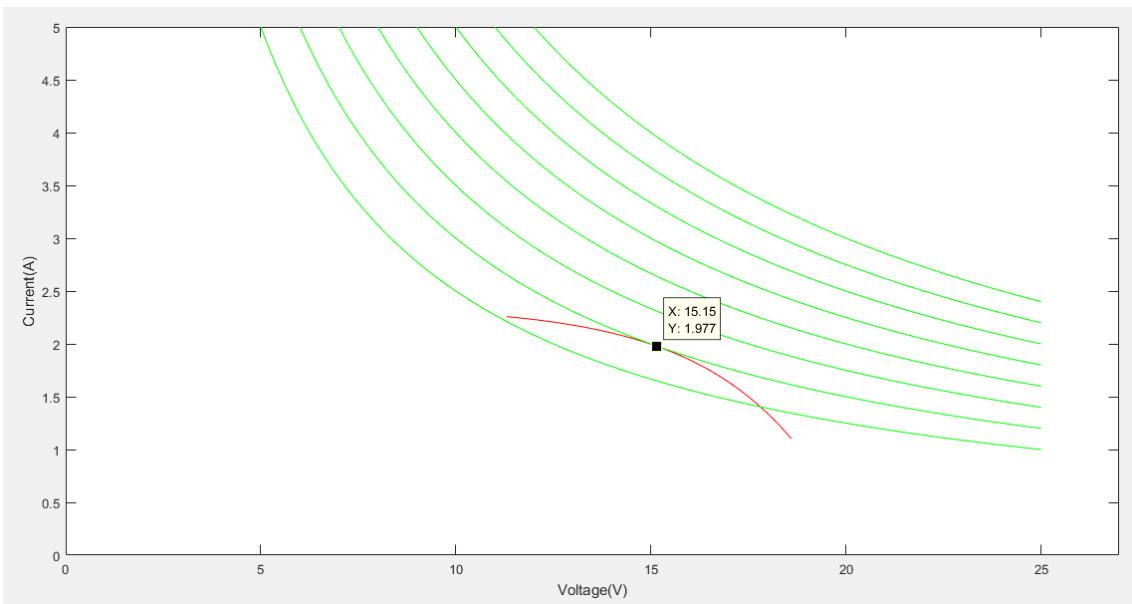
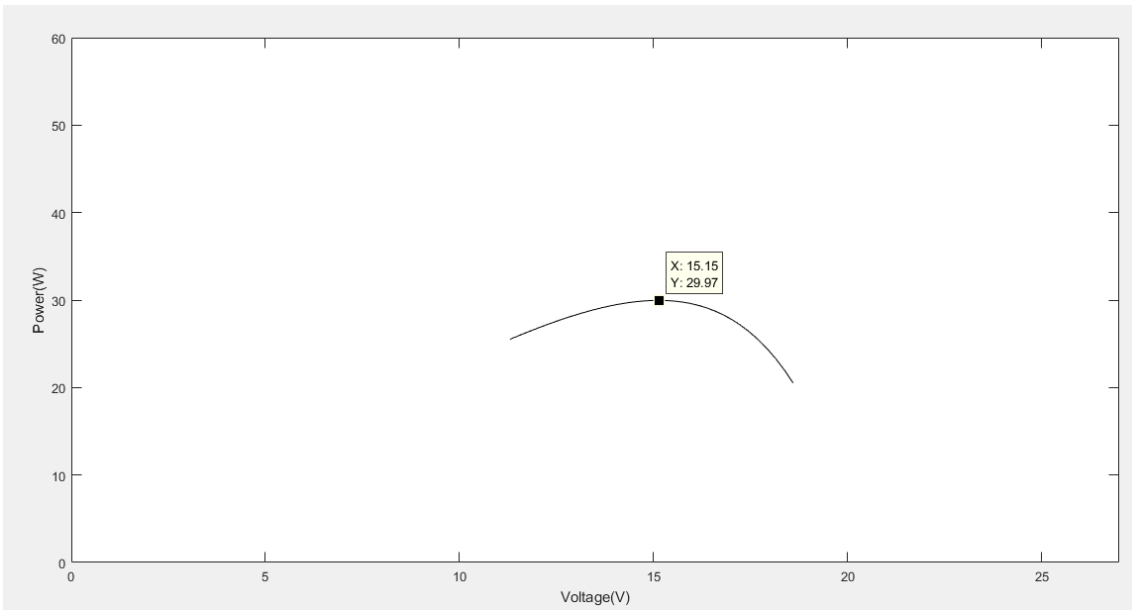


Figure 3 Simulation with $B=800W/m^2$ and $T_c=25^\circ C$

Values of each iteration.

V = 18.5978 18.3702 18.1436 17.9182 17.6941 17.4714 17.2502 17.0307 16.8129 16.5971
 16.3834 16.1719 15.9629 15.7565 15.5529 15.3523 15.1549 14.9610 14.7708 14.5845
 14.4023 14.2244 14.0511 13.8827 13.7192 13.5610 13.4082 13.2609 13.1194 12.9838
 12.8541 12.7305 12.6129 12.5014 12.3961 12.2967 12.2033 12.1157 12.0338 11.9575
 11.8864 11.8206 11.7596 11.7033 11.6514 11.6038 11.5600 11.5200 11.4834 11.4500
 11.4196 11.3919 11.3668 11.3439 11.3233 11.3045

P = 20.5208 22.0170 23.3331 24.4857 25.4896 26.3586 27.1054 27.7414 28.2771 28.7224
 29.0859 29.3760 29.6000 29.7648 29.8768 29.9417 29.9650 29.9516 29.9061 29.8327
 29.7352 29.6173 29.4823 29.3332 29.1729 29.0039 28.8286 28.6491 28.4674 28.2852

28.1040 27.9253 27.7501 27.5796 27.4146 27.2558 27.1037 26.9588 26.8213 26.6914
 26.5692 26.4547 26.3477 26.2481 26.1557 26.0702 25.9913 25.9187 25.8520 25.7908
 25.7349 25.6839 25.6374 25.5951 25.5567 25.5218

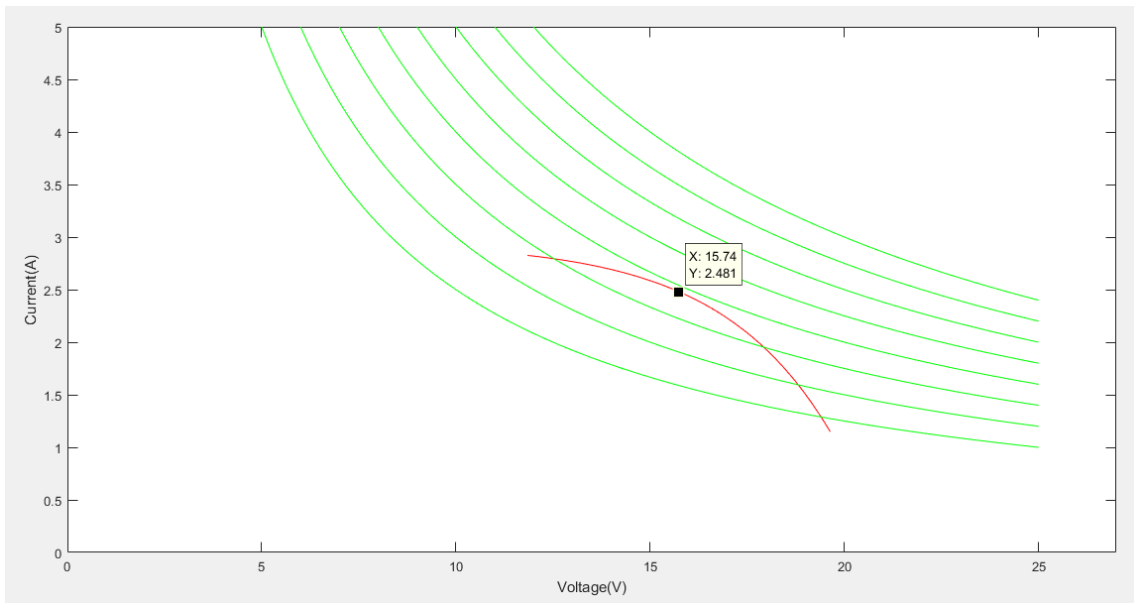
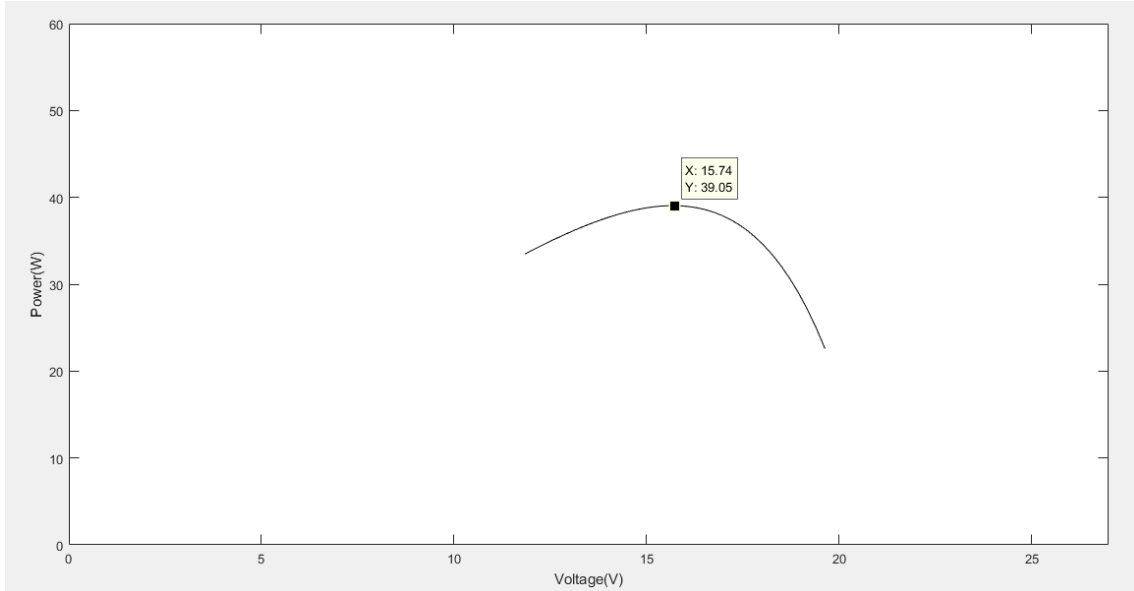


Figure 4 Simulation with $B=1000W/m^2$ and $T_c=25^\circ C$

Values of each iteration.

V = 19.6366 19.4073 19.1789 18.9515 18.7252 18.5001 18.2763 18.0539 17.8330 17.6138
 17.3963 17.1808 16.9674 16.7562 16.5475 16.3413 16.1380 15.9376 15.7405 15.5467
 15.3567 15.1704 14.9883 14.8105 14.6372 14.4686 14.3050 14.1466 13.9935 13.8459
 13.7040 13.5679 13.4376 13.3133 13.1951 13.0828 12.9766 12.8764 12.7820 12.6934
 12.6105 12.5331 12.4610 12.3940 12.3319 12.2745 12.2216 12.1728 12.1280 12.0869
 12.0493 12.0149 11.9836 11.9550 11.9290 11.9054 11.8839 11.8644 11.8468

P = 22.5656 24.9657 27.0939 28.9747 30.6303 32.0814 33.3466 34.4431 35.3866 36.1914
 36.8707 37.4365 37.9000 38.2713 38.5597 38.7738 38.9215 39.0102 39.0463 39.0363

38.9857 38.8999 38.7836 38.6414 38.4774 38.2954 38.0990 37.8913 37.6753 37.4537
 37.2288 37.0029 36.7780 36.5557 36.3375 36.1248 35.9185 35.7197 35.5290 35.3470
 35.1741 35.0104 34.8562 34.7114 34.5759 34.4496 34.3321 34.2233 34.1227 34.0299
 33.9445 33.8661 33.7943 33.7287 33.6688 33.6141 33.5644 33.5192 33.4782

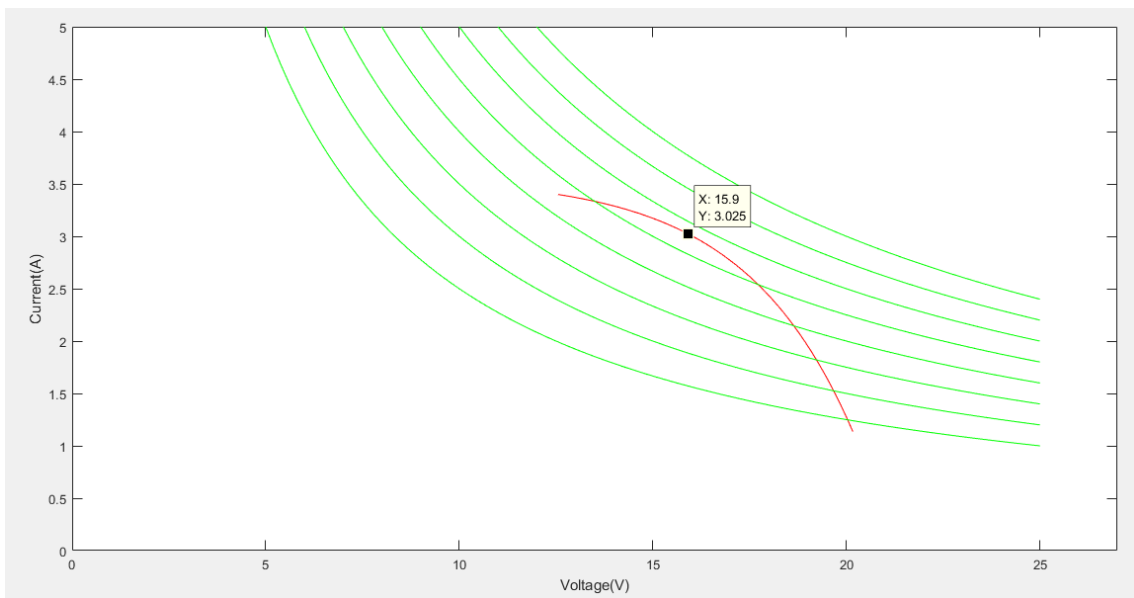
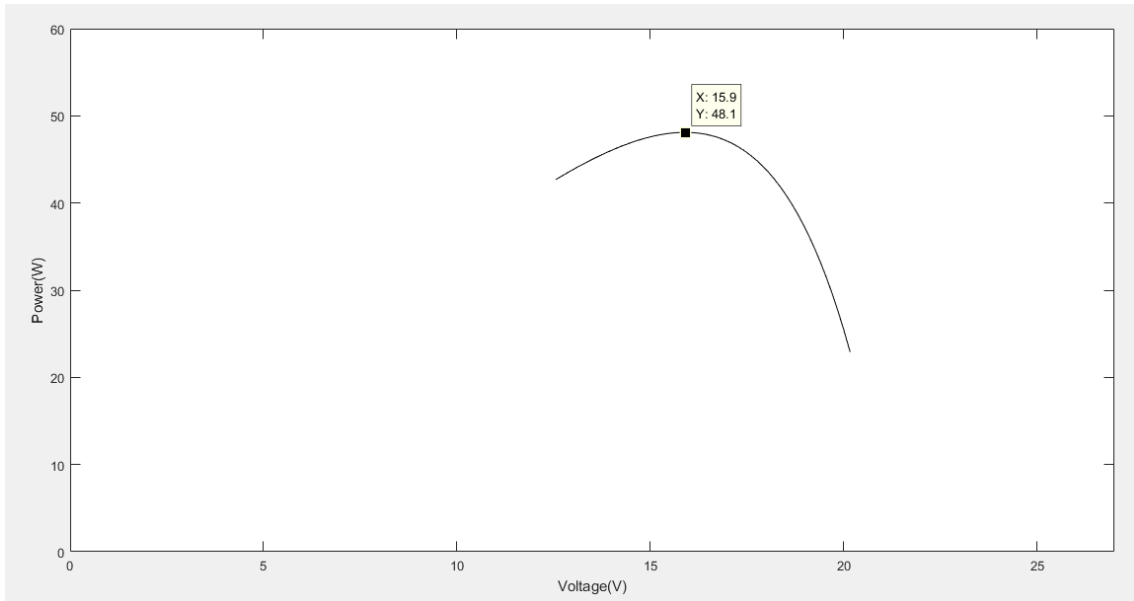


Figure 5 Simulation with $B=1200W/m^2$ and $T_c=30^\circ C$

Values of each iteration.

V =20.1684 20.0145 19.8610 19.7081 19.5557 19.4038 19.2525 19.1018 18.9517 18.8024
 18.6537 18.5058 18.3587 18.2125 18.0671 17.9226 17.7792 17.6367 17.4954 17.3551
 17.2161 17.0782 16.9417 16.8065 16.6728 16.5405 16.4097 16.2806 16.1531 16.0273
 15.9034 15.7813 15.6611 15.5429 15.4267 15.3127 15.2008 15.0911 14.9837 14.8787
 14.7760 14.6758 14.5780 14.4827 14.3900 14.2999 14.2123 14.1274 14.0451 13.9655
 13.8884 13.8141 13.7423 13.6732 13.6066 13.5426 13.4812 13.4222 13.3658 13.3117
 13.2600 13.2106 13.1635 13.1186 13.0758 13.0351 12.9964 12.9597 12.9248 12.8918
 12.8604 12.8308 12.8027 12.7762 12.7512 12.7275 12.7052 12.6842 12.6644 12.6457
 12.6281 12.6116 12.5961 12.5815 12.5677 12.5548

P =22.9062 25.2974 27.5084 29.5504 31.4339 33.1690 34.7650 36.2307 37.5742 38.8036
 39.9259 40.9482 41.8769 42.7180 43.4775 44.1606 44.7724 45.3177 45.8012 46.2269
 46.5990 46.9212 47.1971 47.4300 47.6232 47.7796 47.9021 47.9933 48.0559 48.0921
 48.1042 48.0943 48.0645 48.0167 47.9526 47.8739 47.7822 47.6791 47.5659 47.4440
 47.3146 47.1788 47.0378 46.8926 46.7441 46.5932 46.4407 46.2874 46.1340 45.9810
 45.8290 45.6787 45.5303 45.3844 45.2413 45.1013 44.9647 44.8317 44.7025 44.5773
 44.4561 44.3392 44.2264 44.1180 44.0138 43.9139 43.8182 43.7267 43.6394 43.5560
 43.4766 43.4011 43.3293 43.2611 43.1965 43.1352 43.0772 43.0223 42.9705 42.9215
 42.8752 42.8316 42.7905 42.7517 42.7153 42.6810

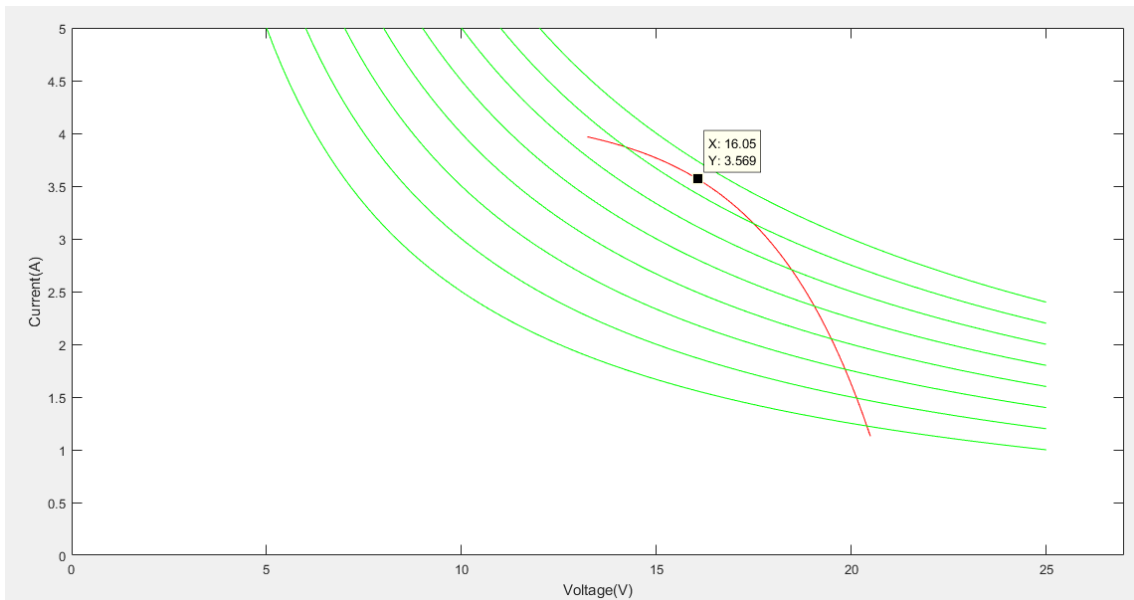
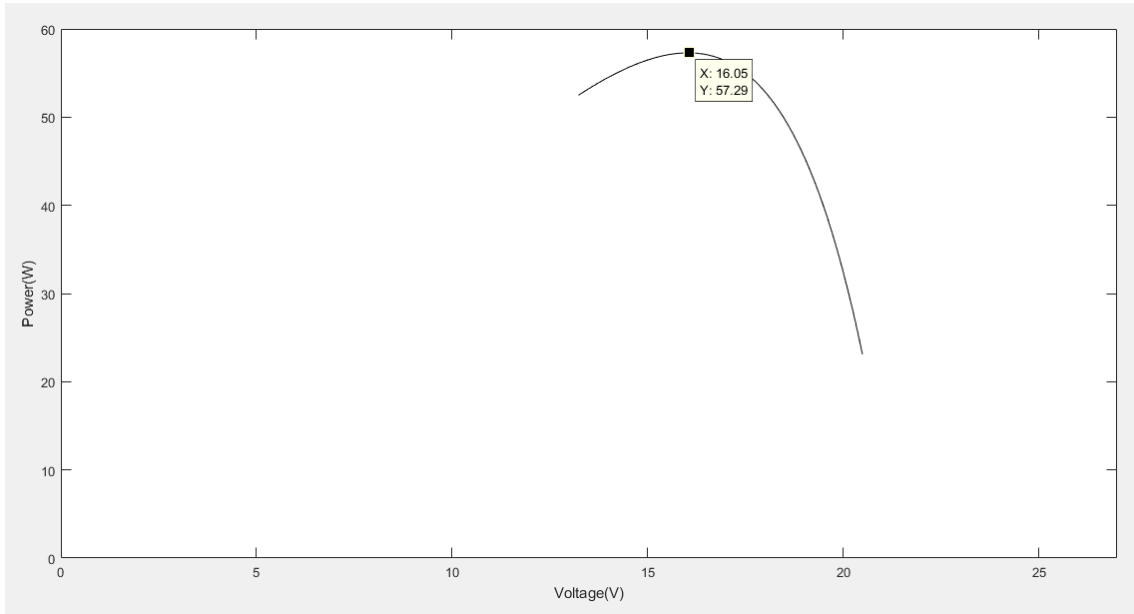


Figure 6 Simulation with $B=1400W/m^2$ and $T_c=35^\circ C$

$V = 20.4905 20.3760 20.2618 20.1479 20.0344 19.9212 19.8083 19.6958 19.5838 19.4721 19.3608$
 $19.2500 19.1396 19.0296 18.9202 18.8113 18.7029 18.5950 18.4877 18.3809 18.2748 18.1693 18.0644$
 $17.9602 17.8567 17.7539 17.6519 17.5506 17.4501 17.3504 17.2515 17.1535 17.0563 16.9601 16.8648$

16.7705 16.6771 16.5848 16.4935 16.4033 16.3141 16.2261 16.1392 16.0535 15.9689 15.8856 15.8035
 15.7226 15.6431 15.5648 15.4878 15.4122 15.3379 15.2650 15.1935 15.1233 15.0546 14.9873 14.9214
 14.8569 14.7939 14.7323 14.6722 14.6135 14.5562 14.5004 14.4460 14.3931 14.3416 14.2915 14.2428
 14.1955 14.1496 14.1050 14.0618 14.0200 13.9794 13.9402 13.9022 13.8655 13.8300 13.7957 13.7626
 13.7307 13.6998 13.6701 13.6415 13.6139 13.5874 13.5618 13.5373 13.5136 13.4909 13.4691 13.4481
 13.4280 13.4087 13.3902 13.3724 13.3553 13.3390 13.3234 13.3084 13.2940 13.2803 13.2671 13.2545
 13.2425 13.2310

P = 23.1259 25.5057 27.7512 29.8689 31.8650 33.7452 35.5153 37.1805 38.7460 40.2164 41.5966
 42.8908 44.1033 45.2382 46.2993 47.2901 48.2143 49.0752 49.8760 50.6196 51.3090 51.9471 52.5364
 53.0794 53.5787 54.0364 54.4549 54.8362 55.1823 55.4953 55.7768 56.0288 56.2528 56.4505 56.6234
 56.7731 56.9008 57.0080 57.0960 57.1659 57.2190 57.2564 57.2792 57.2883 57.2848 57.2696 57.2436
 57.2076 57.1625 57.1091 57.0480 56.9801 56.9058 56.8260 56.7412 56.6519 56.5587 56.4621 56.3626
 56.2607 56.1567 56.0511 55.9443 55.8365 55.7283 55.6197 55.5112 55.4030 55.2953 55.1883 55.0824
 54.9775 54.8740 54.7720 54.6715 54.5728 54.4759 54.3809 54.2880 54.1971 54.1083 54.0218 53.9374
 53.8553 53.7754 53.6978 53.6224 53.5494 53.4786 53.4100 53.3436 53.2795 53.2175 53.1577 53.0999
 53.0442 52.9905 52.9388 52.8890 52.8411 52.7950 52.7507 52.7082 52.6673 52.6280 52.5904 52.5543
 52.5196 52.4864

References

- [1] Teregulov, T. R. et al. "Simplified solar panel modeling in MATLAB/Simulink considering Bashkortostan Republic (Russia) environment characteristics." *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*(2016): 1-4.
- [2] Islam, Md. Aminul et al. "Modeling solar photovoltaic cell and simulated performance analysis of a 250W PV module." *2013 IEEE Electrical Power & Energy Conference* (2013): 1-6.
- [3] I.V. Abramenkova, N.O. Frolkova, O.A. Frolkov, "Modeling of series and parallel impedances in the structure of the real solar cel," in Proc. Systems of computer mathematics and their applications, SCMP, 2009, pp. 3-5.
- [4] Utkarsh Jadli, Padmanabh Thakur , and Rishabh Dev Shukla "A New Parameter Estimation Method of Solar Photovoltaic" *IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS*, VOL. 8, NO. 1, JANUARY 2018, pp 239-247

Code

```
%%Project
clear
clc

%%Solar Parameters
B=1400; %Solar Irradiation
Tref= 20+273;
Tc=35;
Tc=Tc+273;

%%Panel
Isc=2.92;
Rs=.0001; %Ohm
Ki=.005; %A/°C

%%Diode
N= 1.4986; %Ideal factor correction
k= 1.38064852E-23; %Boltzmann constant 1.38064852(79)×10-23 J/K
q= 1.6021766208E-19; %electron charge 1.6021766208(98)×10-19 J
I0=.002; %Isat
ns=9; %series cells
A=q/(N*k*Tc*ns);
Iph=(Isc+Ki*(Tc-Tref))*B/1000;
%%
%%Initial value
Ic=1;
% Vc=17.4;
% Ic=Iph-I0*(exp(A/9*((Vc+Rs*Ic)))-1);
i=1;
%%
DP=1;
while DP>.01
Alpha=1;
%%Initial Update
DP=A*Iph*(-I0/(Iph+I0-Ic))-I0*A*(-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9))+log((Iph+I0-Ic)/I0)*A^2*(-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9))-Rs*Iph+Rs*I0*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9)+Ic*A^2*(-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9));
D2P=A*Iph*I0/(Iph+I0-Ic)^2-I0*A*(I0/(Iph+I0-Ic))^2*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9)+I0/(Iph+I0-Ic)*A^2/9*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9-1))-A^2*I0^(1-A^2/9)*((-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9-1))+log((Iph+I0-Ic)/I0)*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9-2)*(-A^2/9+1))+Rs*I0*(A^2/9)*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9-1)-A^2*(I0)^(1-A^2/9)*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9-1)+Ic*(A^2/9-1)*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9-2));
Dx=-D2P^-1*DP;
Ic=Ic+1/Alpha*Dx;
Vc=A*log((Iph-Ic+I0)/I0)-Rs*Ic;
P=Vc*Ic;
DP=A*Iph*(-I0/(Iph+I0-Ic))-I0*A*(-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9))+log((Iph+I0-Ic)/I0)*A^2*(-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9))-Rs*Iph+Rs*I0*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9)+Ic*A^2*(-I0/(Iph+I0-Ic))*((Iph+I0-Ic)/I0)^(A^2/9));
PP(i)=P;
VV(i)=Vc;
II(i)=Ic;
i=i+1;
```

```

end
%%
%Constant Power
Va=0:.2:25;
Pa=25:5:60;
for z=1:8
    for x=1:126
        Ia(z,:)=Pa(z)./Va;
    end
end

clf
figure(1)
plot(VV,PP,'k');
ylabel('Power(W)');
xlabel('Voltage(V)');
set(gca,'ylim',[0,60]);
set(gca,'xlim',[0,27]);
figure(2)
plot(VV,II,'r');
hold on;
for z=1:8
    plot(Va,Ia(z,:), 'g');
end
set(gca,'ylim',[0,5]);
set(gca,'xlim',[0,27]);
ylabel('Current(A)');
xlabel('Voltage(V)');

VV
PP

```