



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**TRABAJO FIN DE GRADO
ESTIMACIÓN DE UNA INSTALACIÓN
FOTOVOLTAICA PARA UN CENTRO DE
FORMACIÓN EN ZIMBABUE**

**Autor: M^a Magdalena Vázquez Pol
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra**

**Madrid
Agosto de 2019**

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. M^a Magdalena Vázquez Pol

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “**Estimación de una instalación fotovoltaica para un centro de formación en Zimbabue**”, 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.

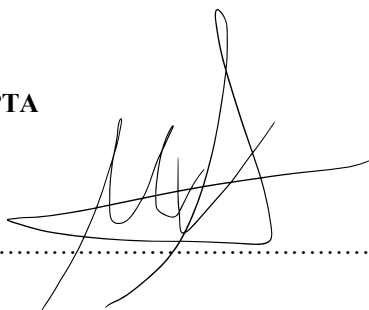
La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes 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 27 de Agosto de 2019

ACEPTA

Fdo.....



Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

--

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**“Estimación de una instalación fotovoltaica para un centro de
formación en Zimbabwe”**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019-2020 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.: M^a Magdalena Vázquez Pol

Fecha: 27/ 08/ 2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

Fecha: 27/ 08/ 2019





COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**TRABAJO FIN DE GRADO
ESTIMACIÓN DE UNA INSTALACIÓN
FOTOVOLTAICA PARA UN CENTRO DE
FORMACIÓN EN ZIMBABUE**

**Autor: M^a Magdalena Vázquez Pol
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra**

**Madrid
Agosto de 2019**

A mi familia.

Índice

<i>Índice de figuras y gráficas</i>	6
<i>Índice de tablas</i>	7
<i>Resumen</i>	8
<i>Abstract.....</i>	9
<i>Introducción y planteamiento del proyecto</i>	10
Objetivos	13
Motivación.....	14
Alcance	15
<i>Capítulo 2.....</i>	16
<i>Energías Renovables</i>	16
Energía solar fotovoltaica	16
Energía eólica.....	17
Aerogeneradores de eje vertical.....	17
Aerogeneradores de eje horizontal	17
Características generales de los aerogeneradores de eje horizontal comerciales	18
Recurso disponible en Mount Darwin	18
Energía de la biomasa	18
<i>Capítulo 3.....</i>	22
<i>Utilización de la Energía Fotovoltaico.....</i>	22
Características de uso de la instalación.....	22
Datos del Centro de Formación.	22
Recurso solar disponible	23
Irradiancia	23
Irradiación	23
Coordenadas solares	23
Horas Pico Solar (HPS).....	24
Elementos del Sistema Fotovoltaico	25
Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.....	25
Sistemas Fotovoltaicos Aislados	25
Sistemas Híbridos.....	26
Módulo.	28
Parámetros Característicos.	28
Condiciones de prueba estándar (STC).....	29
Temperatura de Operación Nominal de la Célula (NOCT).....	29
Condiciones nominales de operación para baja irradiación	29
Tecnologías utilizadas en los Módulos.	29
Tecnología PERC	31
Tecnología Bifacial	31
Acumuladores.....	31
Características Eléctricas de los Acumuladores.	32
Capacidad Nominal.....	32
Profundidad de Descarga (DOD).....	32
Capacidad de Energía Almacenada.....	32
Autodescarga	32

Ciclo de Vida.....	32
Tipos de Acumuladores.....	32
Plomo Acido.....	32
Plomo Acido con ventilación.....	33
Plomo Acido de válvula regulada.....	33
OPzS o Tubular.....	33
Litio.....	34
Determinación del acumulador.....	34
Reguladores.....	35
Tipos de Reguladores.....	35
Características estándar del regulador.....	36
Inversores.....	36
Tipos de Inversores.....	36
Inversores centralizados.....	36
Inversores String.....	37
Inversores modulares o módulo de AC.....	37
Forma de onda:.....	37
Características del inversor:.....	37
Criterios generales de selección de los inversores.....	38
Caja de unión.....	38
Fusible.....	39
Interruptor-Seccionador de CC.....	39
Descargadores de Sobretensiones.....	40
Características generales:.....	40
Estructura de soporte.....	40
Puesta a tierra de instalaciones fotovoltaicas.....	43
Capítulo 4	45
Memoria de cálculo.....	45
Estimación de carga.....	45
Condición 1. Etapa inicial, tres aulas.....	45
Condición 2. Segunda Etapa, aula de enfermería más pequeño quirófano.....	47
Selección de los módulos.....	49
Análisis en la selección del módulo.....	50
Selección del inversor.....	51
Conjunto Inversor y regulador.....	51
Inversor con función de cargar los acumuladores.....	53
Selección de la caja de unión.....	55
Selección de la estructura de soporte.....	56
Cálculo de los acumuladores.....	56
Selección de la puesta a tierra.....	59
Dispositivos de protección contra sobretensiones.....	60
Presupuesto de la instalación.....	61
Capítulo 5.....	62
Introducción a los microprocesadores	62
Código.....	63
MAIN.....	63
MÁQUINA DE ESTADOS	64

ESTADO PERSIANA	68
SENSOR LUZ	69
MOTOR	70
<i>Capítulo 6.....</i>	72
<i>Financiación.....</i>	72
<i>Conclusiones.....</i>	75
<i>Bibliografía.....</i>	76

Índice de figuras y gráficas

Figura 1. Ubicación de Zimbabwe en el continente africano.....	10
Figura 2. Mapa de Zimbabwe.	10
Figura 3. Ubicación del Distrito de Mount Darwin.....	11
Figura 4. Variación de días de sol en función del mes.....	14
Figura 5. Mapa mundial de irradiación solar.....	15
Figura 6. Energía solar fotovoltaica.....	16
Figura 7. Aerogenerador de eje vertical.	17
Figura 8. Parque de aerogeneradores de eje horizontal.	18
Figura 9. Ciclo de la energía de biomasa.....	19
Figura 10. Proceso completo de generación de energía de biomasa.....	19
Figura 11. Ángulos de inclinación y orientación del módulo.	23
Figura 12. Perfil de irradiancia diaria en el área de Mount Darwin en el mes de junio, obtenido con PVGIS.....	24
Figura 13. Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red.	25
Figura 14. Elementos del sistema fotovoltaico aislado.....	26
Figura 15. Configuración de un sistema híbrido formado por un generador fotovoltaico y un motor diésel.	27
Gráfica. Curva Característica I vs V de una Celda Solar.....	29
Figura 16. Esquema de conexión.	38
Figura 17. Separación de las estructuras de soporte.	41
Figura 18. Estructura para paneles solares sobre suelo.	42
Figura 19. Estructura 2 para paneles solares sobre suelo.....	42
Figura 20. Microprocesador dsPIC33FJ32MC202.	63
Figura 21. Modulación de ancho de pulso.....	71
Figura 22. Papeletas del sorteo solidario realizado para conseguir recaudación de fondos.	73
Figura 23. Cartel 1 de la fiesta benéfica realizada para la recaudación de fondos.....	73
Figura 24. Cartel 2 de la fiesta benéfica realizada para la recaudación de fondos.....	74
Figura 25. Camisetas, pulseras y papeletas realizadas para la recaudación de fondos.....	74
Figura 26. Torneo de fútbol benéfico realizado para la recaudación de fondos.....	74

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa entre energía de biomasa y fotovoltaica.....	20
Tabla 2. Datos del recurso solar.....	24
Tabla 3. Nivel Iluminación media en Edificios Educativos.....	44
Tabla 4. Consumo de ordenadores.....	45
Tabla 5. Consumo de la condición 1.....	46
Tabla 6. Nivel Iluminación media en Edificios Educativos.....	46
Tabla 7. Nivel Iluminación media en Salas de descanso, sanitarias y de primeros auxilios.....	47
Tabla 8. Equipos básicos asociados a sala del quirófano.	47
Tabla 9. Consumo de las aulas condición 2.	47
Tabla 10. Comparación de los parámetros eléctricos de los módulos seleccionados.....	48
Tabla 11. Comparación de los parámetros mecánicos de los módulos seleccionados.....	49
Tabla 12. Comparación de los valores de eficiencia y certificaciones de los módulos seleccionados.	49
Tabla 13. Comparación de los precios de los módulos seleccionados.	49
Tabla 14. Información técnica de Inversor cargador seleccionado.	54
Tabla 15. Energía de los equipos para el cálculo de acumulador asociados a sala del quirófano.	55
Tabla 16. Energía de los equipos para el cálculo de acumulador asociados a las aulas de la condición 2.	56
Tabla 17. Comparación de los acumuladores requeridos en la instalación.....	58
Tabla 18. Costes de los elementos importantes de sistema fotovoltaico.....	60

Resumen

Es innegable la relación íntima que existe entre el desarrollo de un país y el uso de la energía eléctrica. En países con inestabilidad política y con largos periodos de enfrentamiento el considerar el uso de generación de energía tradicional es complicado. Este trabajo evalúa la implementación de un sistema eléctrico en una instalación que se acondicionará como centro de formación con dos funciones principales: inicialmente ser impulsor del desarrollo agrícola de la región y a medio plazo servir como dispensario de la zona. El sistema fotovoltaico considerado es un sistema aislado.

Con el objetivo de realizar un proyecto de cooperación social y aportar un valor diferencial al Proyecto de Fin de Grado (PFG) el autor decidió colaborar con una pequeña ONG situada en el noreste de Zimbabue llamada Child Future Africa (CFA). Tras analizar las diferentes propuestas de proyecto que dicha ONG planteaba, se decidió apostar por la electrificación de la escuela para poder así asegurar a los niños acogidos por CFA una educación superior.

CFA da hogar a un gran número de niños huérfanos, dicho número aumenta cada año debido al VIH y al cólera por lo que los recursos para invertir en educación cada año son menores. Con este proyecto se busca intentar solucionar dicha problemática para poder asegurar a dichos niños medios suficientes para poder, en un futuro, valerse por sí mismos.

Adicionalmente la autora consideró de gran interés para el estudio del PFG añadir la automatización de la escuela, que consistiría en implementar sensores de luz en las placas fotovoltaicas y accionar de manera automática las luces del aula cuando se detecte luz en el exterior. Esta automatización cuenta con el modo manual y el modo auto para poder continuar utilizando las luces manualmente en el caso de ser necesario.

Se trata de una ampliación del trabajo de final de grado, sin embargo, esta parte del proyecto no será llevada a cabo ya que no se considera de prioridad la automatización del aula.

Abstract

The intimate relationship between the development of a country and the use of electricity is undeniable. In countries where political instability and long periods of confrontation are normal, consider the use of traditional power generation is complicated. This work evaluates the implementation of an electrical system in a facility that will be used as a training center with two main functions: initially to be a driver of agricultural development in the region and in the medium term to serve as a dispensary in the area. The photovoltaic system considered is an isolated system.

In order to carry out a social cooperation project and provide differential value to the Final Degree Project (PFG), the author decided to collaborate with a small NGO located in northeastern Zimbabwe called Child Future Africa (CFA). After analyzing the different project proposals that the NGO proposed, it was decided to bet on the electrification of the school in order to ensure that children received by CFA have a higher education.

CFA gives home to a large number of orphaned children; this number increases every year due to HIV and cholera so the resources to invest in education are lower every year. This project seeks to solve this problem in order to ensure these children will be able to fend for themselves in the future.

Additionally, the author considered it of great interest for the study of the PFG to add the automation of the school, which would consist of implementing light sensors in the photovoltaic panels and automatically activating the classroom lights whenever it detects light outside. This automation has manual mode and auto mode to continue using the lights manually if necessary.

This is an extension of the PFG, however, this part of the project will not be implemented since classroom automation is not considering a priority considering their conditions.

Capítulo 1

Introducción y planteamiento del proyecto

En los últimos 30 años se ha presentado cambios políticos constantes al sur de África. Ejemplo de ello se observa en Zimbabwe. La inestabilidad política ha generado graves problemas que deben ser afrontados inmediatamente para poder potenciar el desarrollo y progreso de esta nación. En la actualidad, entre los graves escenarios existentes se pueden mencionar: gran cantidad de niños sin padres, dificultad para tener un sistema educativo en las zonas rurales y un sistema eléctrico insuficiente para la carga actual.

La nación de Zimbabwe es reconocida por primera vez en 1980, es un país que se encuentra en el sur de África, que limita con Botsuana, Zambia, Sudáfrica y Mozambique. En 1987 Robert Mugabe fue nombrado presidente del país, cargo que mantuvo hasta noviembre de 2017. Durante su mandato la economía se vio severamente afectada.



Figura 1. Ubicación de Zimbabwe en el continente africano.



Figura 2. Mapa de Zimbabwe.

El 30 de Julio de 2018 se realizaron las primeras elecciones tras el golpe de estado, resultando elegido Mnangagwa con 50.4% de los votos. El siguiente candidato más votado fue Nelson Chamisa, con 44.3%, líder del partido MDC (Movimiento por el Cambio Democrático).

Han sido diversas las organizaciones que han estado colaborando con el futuro del país, tomando como eje de acción la atención a la población infantil sin padres y su educación. Una de estas organizaciones es Child Future Africa (CFA), que desde 2005, ofrece hogar y educación a huérfanos y niños vulnerables en el distrito de Mount Darwin en el norte de Zimbabwe, a 160 km de la capital del país Harare. En esta nación, los niños menores de 15 años constituyen aproximadamente el 47% de la población total y, lamentablemente, 1 de cada 3 niños de esta franja de edad queda huérfano, debido a que los padres han sido víctimas de la pandemia del VIH/SIDA.

Frente a esta situación CFA busca garantizar un hogar y buenas condiciones al mayor número de niños posible, apostar por una educación y una formación que permita a estos niños llegar a ser independientes y que a su vez gracias a su formación puedan generar movimiento económico en la comunidad.

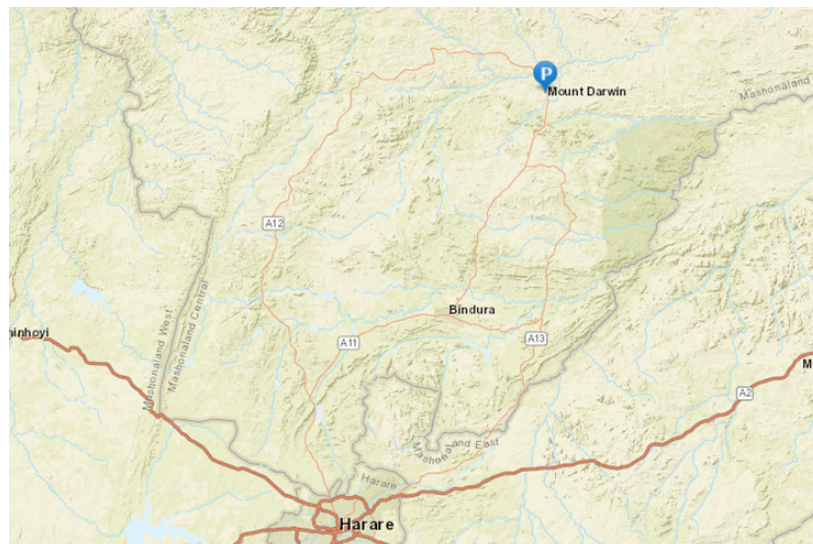


Figura 3. Ubicación del Distrito de Mount Darwin

Existe un creciente consenso global de que el aprendizaje del siglo XXI debe parecer bastante diferente del aprendizaje del siglo XIX, pero que, en la práctica, para la gran mayoría de los estudiantes, no lo hace.

Las organizaciones académicas, políticas y proveedores internacionales están reconsiderando los resultados de aprendizaje y los entornos de aprendizaje, y algunos incluso están involucrados en una revisión fundamental del propósito mismo de la educación de una manera más digitalmente habilitada, compleja y rápida dentro del mundo cambiante en el que nos encontramos.

Están surgiendo nuevos marcos de aprendizaje, muchos en respuesta a la Agenda 2030 de la UNESCO para el Desarrollo Sostenible, una agenda aspiracional y universal para

eliminar la pobreza a través del desarrollo sostenible para 2030, que recoge las ambiciones de educación.

La educación es un derecho humano y una fuerza del desarrollo sostenible y de la paz. Cada objetivo de la Agenda 2030 necesita de la educación para dotar a todas las personas de los conocimientos, las competencias y los valores necesarios que le permitirán vivir con dignidad, construir sus propias vidas y contribuir a las sociedades en que viven pudiendo generar movimiento económico.

Una de las prioridades de la Agenda 2030, junto con la igualdad de género es África. Dentro de esta agenda se integran los objetivos de la Agenda 2063 de la Unión Africana a 50 años vista cuyo principal objetivo es erradicar la hambruna y lograr que el continente sea autosuficiente.

Mientras los gobiernos tienen la responsabilidad principal en garantizar el derecho a una educación de calidad, la Agenda 2030 significa un compromiso universal y colectivo que requiere de la voluntad política, la colaboración mundial y regional, así como del compromiso de todos los gobiernos, la sociedad civil, el sector privado, la juventud, las Naciones Unidas y otras organizaciones multilaterales para hacer frente a los desafíos educativos y construir sistemas inclusivos, equitativos y pertinentes para todos los educandos.

CFA plantea un nuevo centro de formación en Mount Darwin, esta institución debe presentar en un primer nivel los siguientes aspectos:

- El proyecto se compone de dos fases, una primera a corto plazo en la cual la casa será utilizada para impartir estudios sobre agricultura y ganadería, y una segunda fase a largo plazo convertir la instalación en un aula de enfermería con un pequeño quirófano donde se podrán realizar cirugías básicas.
- Considerar la utilización de electricidad en la instalación.

La agricultura emplea, formal o informalmente, a mayor número de personas, alrededor del 70% de la población. También aporta el 40% de los ingresos por exportaciones. Se estima que el sector agrícola decreció un 3,6% en 2016 debido a los devastadores efectos de ‘El Niño’, la sequía de los años 2015 y 2016. Esta situación supuso una drástica reducción de las cosechas de maíz, algodón y cacahuetes entre otros. Además, la sequía supuso escasez de pastos para el ganado ocasionando grandes pérdidas, especialmente en el sur del país.

El tabaco es quizá el sector más desarrollado y una de las principales exportaciones de Zimbabue. La producción de tabaco en 2016 superó significativamente el rendimiento proyectado, a pesar de que la superficie cultivada fue menor.

En cuanto al sector de generación de energía, Zimbabue tiene una capacidad instalada de casi 2 mil megavatios. Casi un 60% provienen de centrales térmicas que utilizan carbón y un 40% de centrales hidroeléctricas. Se estima que la generación de electricidad ha disminuido en un 19% en 2016, de 9.271,1 GWh en 2015 a 7.230,56 GWh en 2016. Esto se debe a la reducción de la producción tanto de fuentes de energía térmica como hidroeléctrica y al racionamiento del agua en el lago Kariba por los bajos niveles del lago, que hicieron que la generación de energía se viera afectada en 2016. La generación de electricidad también se vio afectada por los bajos niveles de existencias de carbón en Munyati y las centrales térmicas de Bulawayo.

Aunque el acceso nacional a la electricidad es del 40%, el acceso a la electricidad en las zonas rurales (19%) es mucho menor que en las zonas urbanas (80%) debido a los costes prohibitivos de extender las redes eléctricas nacionales.

La capacidad es una preocupación importante en Zimbabwe. No se han producido nuevos desarrollos en el sector de generación del país desde la puesta en marcha de la planta de carbón de Hwange en 1988. Por lo tanto, solo el 60% de la capacidad instalada del país está disponible.

Además, todas las estaciones de carbón en Zimbabwe necesitan mejoras importantes, ya que actualmente tienen paradas de producción frecuentes o no producen en absoluto. Esto ha llevado a apagones frecuentes y duraderos en el país. Las importaciones de energía de los países vecinos no son suficientes para resolver el problema de baja capacidad. Como resultado, los cortes de energía continúan afectando el desempeño económico de las industrias y los servicios. Los generadores de energía a pequeña escala se utilizan en todo el país para aliviar esta situación.

Zimbabwe presenta graves problemas del servicio eléctrico. Para agosto 2019 la empresa Zimbabwe Electricity Supply Authority Holdings (ZESA) establece programas de racionamiento en el país, principalmente en las ciudades y poblados importantes, por lo que el suministro de energía eléctrica en las zonas rurales se vea comprometido. Lejos de tener una solución en el corto plazo ZESA ha indicado que el problema se incrementará en los próximos años.

Dado que el distrito de Mount Darwin no contará con un suministro eléctrico a corto y mediano plazo se considera la evaluación de alternativas de fuentes de energía eléctrica que potencien el centro de formación de esta localidad.

Objetivos

El objetivo principal es determinar la alternativa más eficiente, económica y que mejor se adapte a la electrificación de una escuela de formación superior, siempre teniendo en cuenta la proyección a futuro de convertir dicha escuela en una escuela de enfermería con sala de cirugía.

Para alcanzar este objetivo principal, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de las alternativas tecnológicas para la electrificación de una instalación de baja potencia capaz de cubrir las necesidades básicas para condicionar las estancias.
- Identificación de los equipos requeridos para garantizar el servicio de electricidad en ambos escenarios, en primer lugar, como aula de formación superior y a continuación como dispensario.
- Selección de los elementos requeridos para la carga estimada a corto y mediano plazo.

Motivación

Tras el estudio de la situación actual de Zimbabwe y concretamente de Mount Darwin la autora del presente PFG concluyó que era de vital importancia apostar por la educación en las comunidades menos desarrolladas con el objetivo de facilitarles medios suficientes de estudios e instalaciones que les ayude a progresar, ya que contando con los conocimientos pueden aumentar sus producciones de alimentos y llegar a comercializar con ellos.

Zimbabwe es un país en el cual el clima varía mucho entre la estación de lluvia y altas temperaturas y la estación seca con temperaturas muy bajas. Este hecho hace que durante los meses de poca luz sea muy complicado tanto impartir como asistir a las clases, sin ninguna garantía de que se vayan a poder realizar.

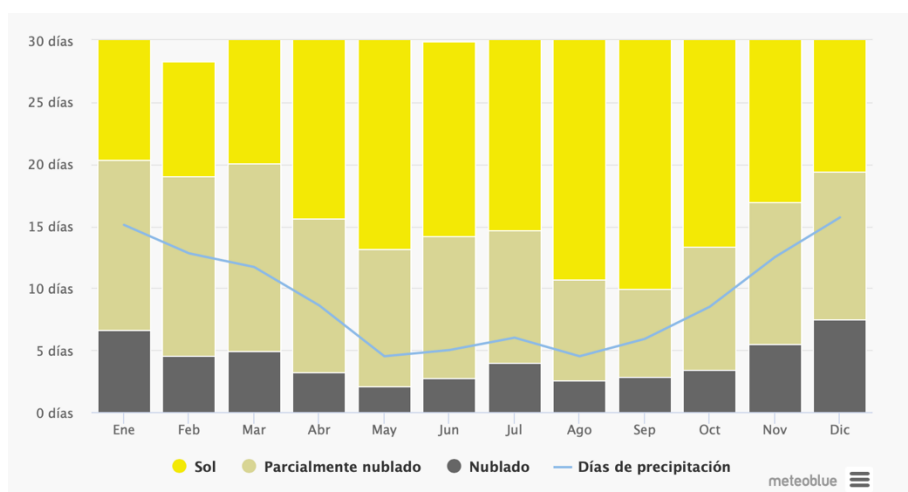


Figura 4. Variación de días de sol en función del mes.

Siendo este PFG un proyecto independiente, pertenece a un conjunto de proyectos también realizados por estudiantes que buscaban colaborar a través de dicho proyecto con la sociedad. Por este motivo, otro de los proyectos consiste en la construcción de dicha escuela de formación profesional.

Desde un primer momento se consideró de vital importancia la electrificación de la escuela ya que permite a los estudiantes atender a más horas de clases diarias, facilitando de este modo el estudio ya que las clases estarán acondicionadas para contar con luz y electricidad para los ordenadores.

La realización de este proyecto fue estudiada previamente, ya que una buena inclusión en la comunidad y el hecho de hacer partícipes de manera proactiva a los habitantes y futuros estudiantes de la escuela se considera primordial, pues de ellos depende el buen uso de estas instalaciones y por tanto se trata de una garantía a largo plazo de la vida útil de la escuela.

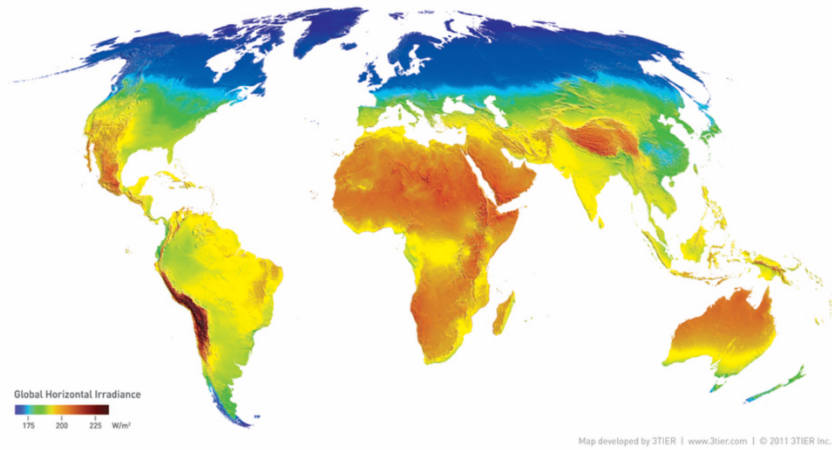


Figura 5. Mapa mundial de irradiación solar.

A su vez, Zimbabwe es un país que cuenta con una elevada radiación solar, por este motivo se ha decidido realizar la instalación a partir de paneles fotovoltaicos, ya que se cuenta con las condiciones necesarias para instalarlo, no supondrán un gasto muy elevado tras la inversión inicial, más que los gastos de mantenimiento y a su vez colabora con el medio ambiente evitando el uso de carburantes que emitan gases.

Alcance

En este documento se analiza un sistema de generación de energía eléctrica para un centro de formación que se contempla desarrollar para poder así garantizar educación superior a los niños de un orfanato de Zimbabwe.

La propuesta se basará en la estimación de la instalación, la cual se considera que contará con tres áreas destinada a impartir clases en una primera etapa y como dispensario cuando se cuente con los recursos económicos necesarios para poder llevar a cabo la instalación y la compra del material requerido.

En el presente PFG también se encuentra necesario tratar la viabilidad económica y los medios utilizados para poder finalmente financiar el proyecto sin suponer a la ONG con la cual se está trabajando ningún gasto.

Capítulo 2.

Energías Renovables

Zimbabue depende de la energía hidroeléctrica. En las zonas rurales del país, el 80-90% de las personas dependen de la leña y el queroseno para cocinar. Las tareas de procesamiento de alimentos, como la molienda de granos, generalmente se llevan a cabo con un sistema diésel.

La empresa Zimbabwe Electricity Supply Authority Holdings (ZESA), indica que la generación del país no puede satisfacer el consumo, imponiendo racionamiento en todas las regiones.

Dada la grave situación del servicio eléctrico, se considera el uso de las energías alternativas.

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una de las primeras opciones considerar un sistema de generación eléctrica, sobre todo en sectores rurales. Dadas las dificultades de contar con una red de distribución del sistema eléctrico, se considera un sistema aislado.

Un sistema fotovoltaico aislado o autónomo se asocia a un sistema auto abastecedor, ya que aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica necesaria para cubrir la demanda y para el suministro de la propia instalación.

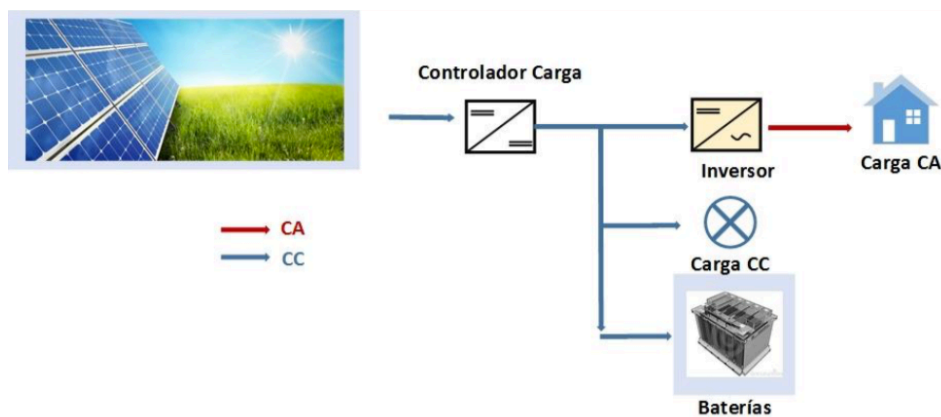


Figura 6. Energía solar fotovoltaica.

En general, un sistema fotovoltaico consta de unos paneles o módulos fotovoltaicos, que convierten la energía solar en electricidad, un acumulador para poder almacenar el excedente de energía generada y utilizarla cuando sea necesaria y un regulador que controla el buen funcionamiento del acumulador. Además, se contempla la utilización de un inversor que transforme la corriente continua en alterna. Dependiendo de las consideraciones de la instalación los reguladores pueden realizar las tareas de manejar y controlar el trabajo de los acumuladores.

Esta tecnología aprovecha la radiación solar, que es una fuente renovable ilimitada y presente en la mayoría de los lugares del mundo, además es respetuosa con el medio ambiente. Las instalaciones fotovoltaicas son fáciles de instalar, mantener y ampliar en el supuesto que la demanda se incrementase.

Energía eólica

El principio de funcionamiento de la tecnología eólica se fundamenta en la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica, y esta energía mecánica en energía eléctrica por medio de un generador situado en el interior del aerogenerador.

Para el aprovechamiento de este tipo de energía se han desarrollado equipos llamados aerogeneradores. Los de mayor impacto y utilización son los equipos por encima de 1 MW de potencia. Existen aerogeneradores que pueden suministrar bajos valores de potencia. Estos equipos se dividen en aerogeneradores de: eje vertical y eje horizontal.

Aerogeneradores de eje vertical

En este tipo de aerogeneradores las palas rotan en torno a un eje central vertical, presentando por lo tanto tres ventajas fundamentales con respecto a los de eje horizontal, los cuales son utilizados de forma más asidua:

- La sujeción de las palas es de fácil diseño y ejecución.
- No precisan sistema de orientación para captar la energía del viento.
- Fácil ubicación del tren de potencia, generador y transformador, a nivel del suelo.



Figura 7. Aerogenerador de eje vertical.

De forma general podemos decir que el rendimiento de los aerogeneradores de eje vertical se encuentra por debajo de la mitad que el correspondiente a aerogeneradores de eje horizontal.

Aerogeneradores de eje horizontal

Este tipo de aerogeneradores, con disposición de su eje en horizontal, se caracterizan por girar las palas en dirección perpendicular a la velocidad del viento.

Se clasifican a su vez en aeroturbinas lentas y rápidas, según la velocidad de giro de sus rotores. Las últimas son las que se conectan a la red, mientras que las primeras suelen funcionar en instalaciones aisladas.



Figura 8. Parque de aerogeneradores de eje horizontal.

Aero turbina lenta

Suelen tener entre 6 y 24 palas, lo que les confiere elevados pares de arranque y reducida velocidad de giro. No se destinan a generación eléctrica sino, tradicionalmente, a aplicaciones como bombeo de agua.

Aero turbina rápida

Suelen tener entre dos y tres palas, siendo éstos últimos los más frecuentes, con un adecuado perfil aerodinámico.

Características generales de los aerogeneradores de eje horizontal comerciales

Entre las características principales que presentan los aerogeneradores de eje horizontal utilizados para la generación eléctrica encontramos:

- Potencia por debajo de 5 kW.
- Altura de ubicación por debajo de los 20 metros.
- Velocidad nominal por encima de los 10 m/s.

Recurso disponible en Mount Darwin

De los datos obtenidos por la NASA muestra que la velocidad máxima en el distrito de Mount Darwin es menor a los 8 m/s, valores a una altura de 10 m. El tipo de aerogenerador considerado para el aprovechamiento del viento para el centro de formación es el aerogenerador horizontal de baja potencia donde la velocidad nominal establecida por los fabricantes se encuentra por encima de los 10 m/s para obtener la potencia nominal de estos equipos. Debido a las características del viento de la zona se descarta la utilización de este tipo de energía.

Energía de la biomasa

La biomasa es la energía renovable más utilizada en Zimbabwe para uso doméstico. Es la principal fuente de energía para cocinar, iluminar y calentar para más del 80% de la población, principalmente en las zonas rurales.

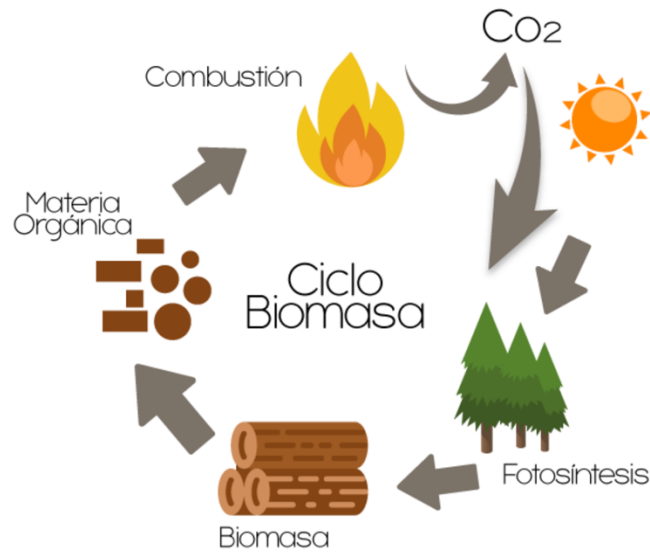


Figura 9. Ciclo de la energía de biomasa.

El país cuenta con la posibilidad de generar energía eléctrica a partir de los desechos de madera producidos por la industria maderera. Pese a este potencial no se han realizado desarrollo proyectos en el área que utilice este tipo de energía.

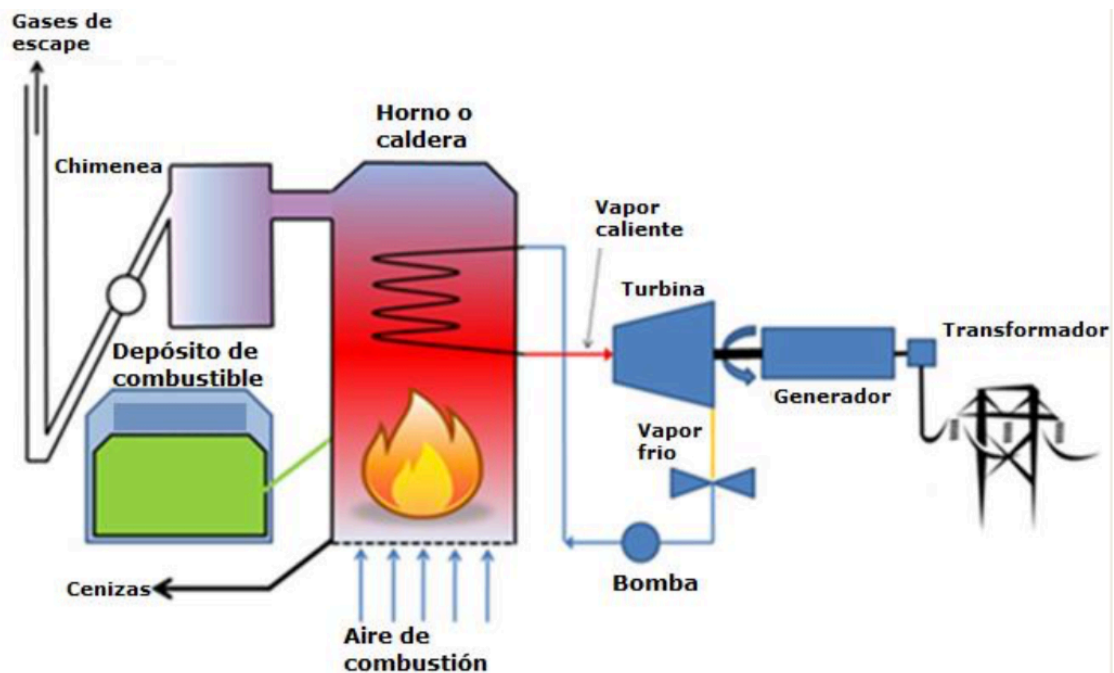


Figura 10. Proceso completo de generación de energía de biomasa.

Como se puede observar en la figura, generar energía de biomasa a gran escala conlleva de una inversión inicial muy grande ya que la cantidad de elementos necesarios son muchos y de muy alto coste, por lo tanto, y teniendo en cuenta que el consumo estimado en el centro no será tan grande, queda descartada la energía de biomasa.

Siendo que la energía eólica se descarta debido a que las condiciones del viento en el distrito de Mount Darwin no permitirían llegar a la velocidad nominal determinada por los fabricantes se encuentra de gran ayuda realizar una tabla comparando los distintos factores que se han tenido en cuenta a la hora de decantar el proyecto hacia la energía fotovoltaica en lugar de la energía de biomasa.

Tabla 1. Comparativa entre energía de biomasa y fotovoltaica.

		Impacto de cada energía según criterio	
Principios	Aspectos	BIOMASA	FOTOVOLTAICA
Técnico	Desarrollo de la tecnología	Bajo, ya que en ambos casos se daría uso a tecnologías ya existentes.	Bajo, ya que en ambos casos se daría uso a tecnologías ya existentes.
	Desarrollo de conocimientos de mantenimiento	Alto. Sería necesario contar con una o dos personas especializadas en el mantenimiento de los elementos de todo el proceso.	Medio. Sería necesario contar con un operario, sin embargo, el mantenimiento es más sencillo que el necesario en el proceso de biomasa.
Social	Mejora de las condiciones de vida	Alto.	Alto.
Ambiental	Sostenibilidad en gestión y uso de recursos de la zona	Alto. Se utilizarían, entre otros, los residuos de la zona.	Alto. Únicamente es necesaria la energía solar.
	Protección del medio ambiente	Medio. Dependiendo de los reactivos utilizados en el proceso puede generar contaminantes.	Alto.
Económico	Desarrollo económico local	Alto.	Alto.
	Generación de puestos de trabajo	Medio.	Medio
	Coste inicial	Alto.	Medio

Como se puede ver en la tabla, el coste de instalación para generar energía a través del proceso de biomasa es mucho más elevado que el coste de una instalación fotovoltaica y el presupuesto con el que se cuenta es uno de los principales criterios de selección.

Por otro lado, la energía solar es una gran fuente de energía en África, considerado en muchos casos el “Continente Sol”, por lo tanto, el uso de esta energía en África es más común que un gran proceso de energía de biomasa, aspecto que también nos beneficia ya que a la hora de realizar la instalación será más probable que encontremos profesionales que hayan trabajado previamente en instalaciones fotovoltaicas que realizando procesos de biomasa.

El objetivo final que se busca con este proyecto es generar un impacto en la sociedad, y la autora del presente PFG considera que este impacto se consigue con ambas energías, por lo tanto, puesto que ambas podrían ser válidas, y teniendo en cuenta el aspecto económico y de mantenimiento de la instalación, se decide realizar la instalación con paneles fotovoltaicos.

Capítulo 3.

Utilización de la Energía Fotovoltaica.

Para dimensionar un sistema fotovoltaico que garantice el suministro de energía eléctrica en el Centro de Formación en el distrito de Mount Darwin en Zimbabue se deben tener en cuenta:

- Las características de uso de la instalación.
- El recurso solar disponible.
- Elementos del sistema fotovoltaico.

Características de uso de la instalación

El Centro de Formación será desarrollado por Child Future Africa para impartir educación a niños sin padres y poder así suministrarles conocimientos y competencias que potencien su estabilidad y desarrollo en la sociedad.

Para lograr estos objetivos se desea aportar una instalación en donde los niños tengan la posibilidad de usar ordenadores en una primera etapa.

Datos del Centro de Formación.

El centro de formación estará ubicado en el distrito Mount Darwin, ubicado las coordenadas:

- **Latitud:** -16.7696995
- **Longitud:** 31.5722435

Como características generales del centro se contemplan tres espacios distintos con un área estimada de 60 m².

Se propone que el centro inicie para el dictado de clases a niños, lo que será definido como Condición 1. Con este proyecto se busca propiciar que niños cuenten con los medios suficientes para poder valerse por sí mismos. Para ello, se impartirán estudios sobre agricultura y ganadería.

Como segunda fase del proyecto se modificará la orientación inicial transformando el centro en un aula de enfermería con un pequeño quirófano donde se podrán realizar cirugías poco complejas, lo cual para los efectos de los cálculos de estimación d carga será definido como condición 2.

La instalación que se busca debe ser asequible (tanto a corto como a largo plazo), sencilla y de fácil mantenimiento.

Asequible: sin tener en cuenta el gasto inicial, es muy importante que la instalación sea auto-sostenible con el objetivo de no suponer ningún tipo de gasto para la organización.

Sencilla instalación: se trata de una propiedad muy importante por distintos factores. Los recursos materiales en la zona son limitados, y el transporte de éstos desde la capital supone un gasto adicional muy grande ya que se encuentra a más de 180 km a través de carreteras en malas condiciones. En segundo lugar, la instalación se realizará por alumnos con poca formación acerca de instalaciones.

Fácil mantenimiento: se desea garantizar que la instalación tiene una vida útil de entre 20-25 años a su máximo rendimiento. Por lo tanto, el correcto uso y mantenimiento de la gente local responsable de la instalación será primordial para que esto se pueda cumplir

e intentar alargar el uso de las placas independientemente que su productividad disminuya.

Recurso solar disponible

Para determinar el potencial de la energía solar se deben tener en cuenta principalmente variables como: la irradiancia, la irradiación en la posición geográfica de la instalación, el Azimut, el ángulo de inclinación, el ángulo de incidencia y la Hora solar pico.

Irradiancia

Se define como la densidad de potencia incidente o la energía incidente en una superficie de 1 metro cuadrado. Se mide en kW/m^2 .

Irradiación

La irradiación se trata de la energía en una superficie de 1 metro cuadrado a lo largo de un período de tiempo determinado. Es la integral de la Irradiancia durante el período. Se mide en kWh/m^2 .

Coordenadas solares

Azimut de una superficie inclinada e inclinación de la superficie.

En la figura se observa el módulo con una inclinación donde está determinada la posición conociendo solo dos ángulos:

- El azimut (α) es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte que forman el punto cardinal Norte (Sur) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj.
- La inclinación (β) es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte que forman el punto cardinal Norte (Sur) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj.

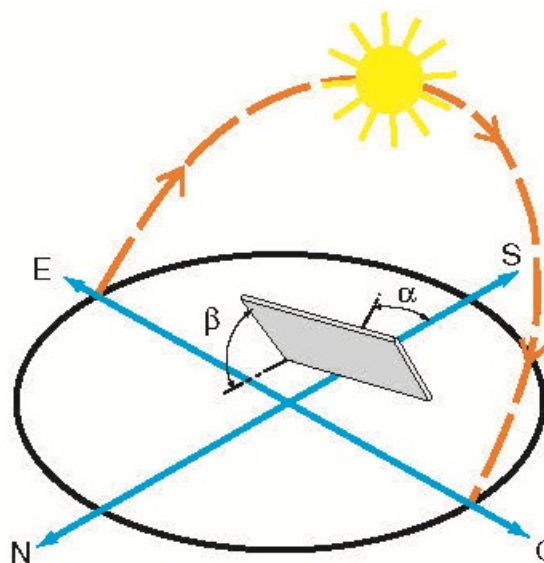


Figura 11. Ángulos de inclinación y orientación del módulo.

Ángulo de incidencia.

Es el ángulo entre el rayo incidente directo sobre la superficie y la línea perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.

Horas Pico Solar (HPS)

Establece la unión entre la cantidad de energía recibida del sol y la cantidad de energía proporcionada por el modulo solar fotovoltaico bajo una intensidad de radiación solar de 1000W/m^2 .

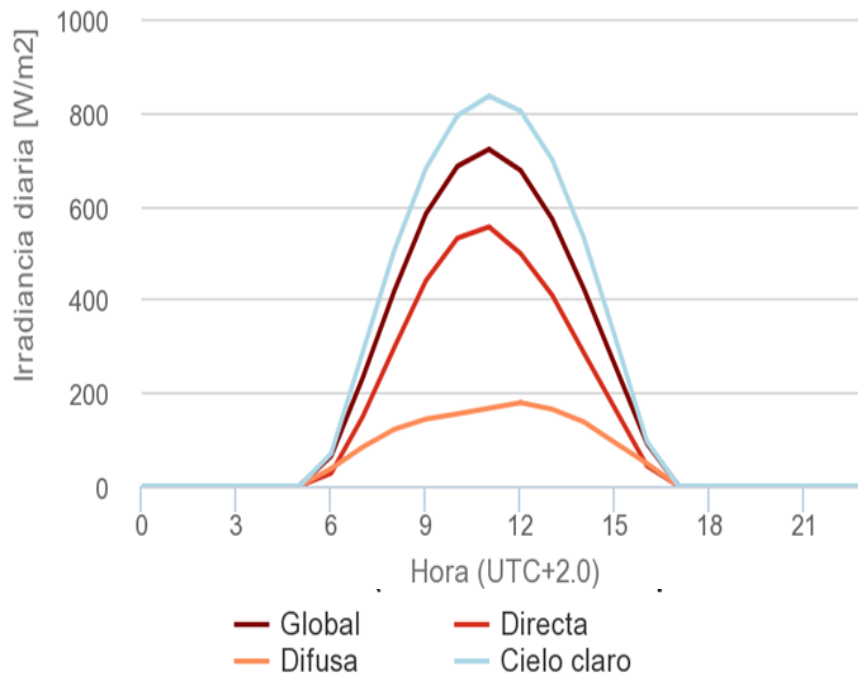


Figura 12. Perfil de irradiancia diaria en el área de Mount Darwin en el mes de junio, obtenido con PVGIS

Tabla 2. Datos del recurso solar

Mes	R_0 [KWh/m ² día]
Enero	5,17
Febrero	5,91
Marzo	6,34
Abril	6,11
Mayo	5,75
Junio	5,34
Julio	5,47
Agosto	6,01
Septiembre	6,19
Octubre	6,21
Noviembre	6,02
Diciembre	5,09

Donde:

- Radiación sobre superficie horizontal R_0 : valor medio mensual de la radiación diaria sobre superficie horizontal, en kWh/m²día. La base de datos de PVSYST proporciona los valores estadísticos históricos de la zona.

Elementos del Sistema Fotovoltaico

Los elementos a considerar en un sistema fotovoltaico dependerán del tipo de sistema que se defina.

Se dividen principalmente en tres grandes grupos: conectados a la red, aislados y sistemas híbridos.

Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red

Tienen como principal característica que en horas de muy poca irradiación solar o cuando el módulo fotovoltaico no produce la energía necesaria para satisfacer el consumo de energía de los usuarios la red proporciona la energía eléctrica a la carga, en caso contrario cuando el sistema fotovoltaico produce más energía de la que se requiere entonces en ese caso el excedente de energía se vierte a la red.

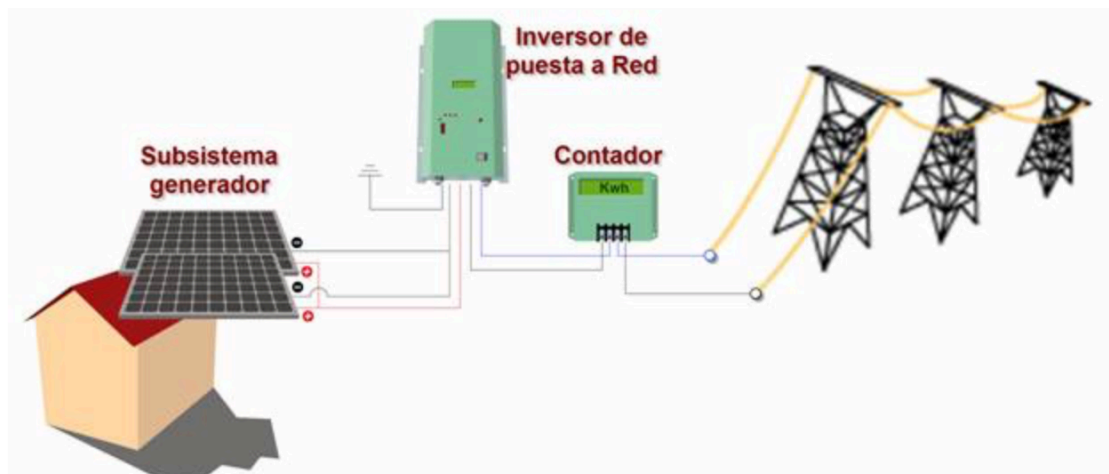


Figura 13. Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red.

Este sistema queda descartado al no contar con una red de distribución que garantice un servicio eléctrico en el centro de formación.

Sistemas Fotovoltaicos Aislados

Los sistemas aislados de la red o autónomos consisten en sistemas de energía solar que poseen como una de sus principales características el uso de baterías, puesto que resulta necesario poseer un sistema de acumulación de energía capaz de proporcionar la energía requerida para satisfacer la demanda de los usuarios en las horas del día en las que la intensidad lumínica no sea suficiente para satisfacer la demanda requerida.

Este tipo de sistema suelen estar constituidos por los siguientes elementos: panel solar, regulador, banco de baterías, inversor.

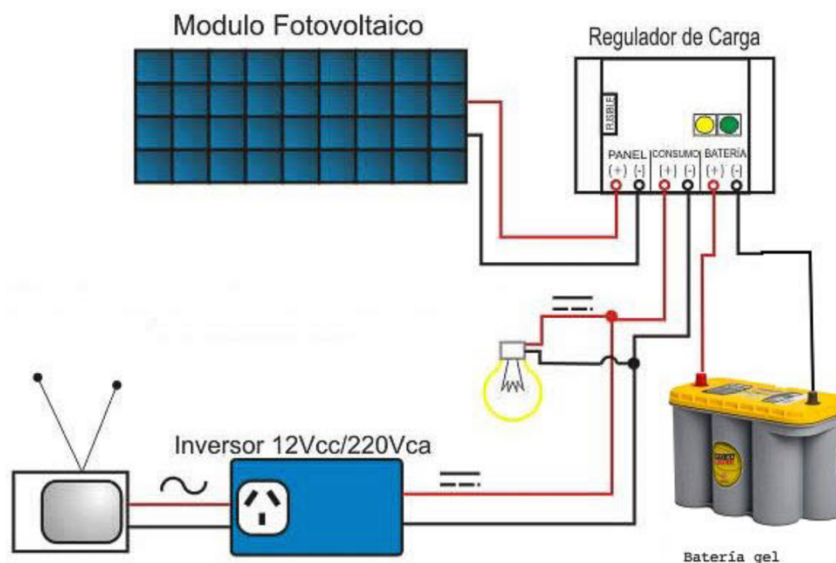


Figura14. Elementos del sistema fotovoltaico aislado.

Una de las principales limitaciones que presenta el dimensionamiento de este tipo de sistemas es lo difícil que puede resultar evaluar el consumo energético exacto de cada una de las cargas que se van a tener en la instalación. Uno de los métodos es averiguar la potencia de cada una de las cargas que compondrán el sistema fotovoltaico aislado y multiplicarlo por las horas de funcionamiento al día (suponiendo que el consumo de energía es constante a lo largo del día para cada una de las cargas), aunque este método da lugar a cierto grado de incertidumbre debido a que pudiera resultar difícil determinar el número de horas que funcionará cada carga la cual pudiera variar dependiendo de la época del año.

El precio del kWh de los sistemas fotovoltaicos aislados resulta algo más elevado que el obtenido de la red eléctrica convencional, razón por la cual es necesario tener la conciencia de que a pesar de utilizar una fuente de energía renovable es de vital importancia considerar una optimización del consumo energético de las cargas utilizando por ejemplo en el diseño un tipo de sistema iluminación con luminarias que contengan lámparas led.

Al poseer un sistema fotovoltaico aislado se debe tener en cuenta que el consumo energético que realicen será el que su reserva energética les permita, lo cual hace necesario un adecuado dimensionamiento del regulador y del banco de baterías o el inversor con cargador de baterías.

Sistemas Híbridos.

Generalmente están compuestos por un sistema de respaldo de energía (un generador convencional o la misma red eléctrica) acoplado de manera eficiente con una fuente de energía renovable (generalmente un sistema fotovoltaico) de manera que garantice el suministro de la demanda de energía requerida.

Este tipo de sistemas se diseñan de manera que durante las horas de mayor incidencia solar la instalación fotovoltaica sea encargada de suministrar la demanda de energía requerida por los usuarios del sistema, permitiendo durante este proceso cargar el sistema de baterías.

Además, los sistemas híbridos se diseñan de manera que cuando la demanda de energía requerida no pueda ser suministrada por instalación fotovoltaica y baterías entonces el sistema secundario de energía o de respaldo (generalmente un generador convencional, un sistema de energía renovable o la misma red eléctrica) entra en funcionamiento a fin de garantizar el suministro de energía demandada por el sistema.

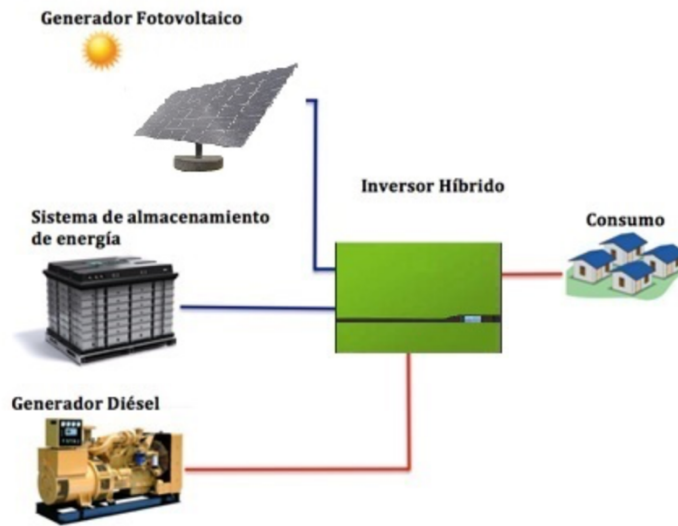


Figura 15. Configuración de un sistema híbrido formado por un generador fotovoltaico y un motor diésel.

Los sistemas híbridos pueden ser tan grandes como lo requiera una determinada aplicación, pudiéndose acoplar al sistema fotovoltaico varios sistemas secundarios o de respaldo. Los sistemas de respaldo que generalmente se utilizan en este tipo de aplicaciones son además de la red de energía eléctrica, generadores eólicos, pequeñas centrales minihidráulicas, entre otras fuentes capaces de producir energía eléctrica.

Dichos sistemas son necesarios cuando se requiera una disponibilidad constante y permanente de energía eléctrica, o bien cuando se requiere de elevadas cantidades de energía eléctrica.

Este sistema se descarta al considerar utilizar una cantidad mínima de elementos para reducir el coste de la instalación y no resultar necesario tener la garantía de un suministro constante de energía.

El sistema a evaluar para el Centro de Formación será el sistema aislado, para el cual se debe contemplar los siguientes elementos:

- Modulo.
- Acumulador.
- Regulador.
- Inversor.
- Caja de conexión.

Módulo.

El módulo o panel es una unidad completa, protegida del medio ambiente que consiste en células solares, componentes ópticos y otros, excepto los de orientación, diseñados para generar corriente continua cuando recibe la luz del sol.

Parámetros Característicos.

La curva característica de corriente versus tensión permite establecer el comportamiento eléctrico del dispositivo, en esta curva se ven relacionados los siguientes parámetros:

- **Corriente de Cortocircuito (I_{sc})**
Definida como el máximo valor de corriente de salida del módulo y se da cuando los terminales están en cortocircuito.
- **Tensión de Circuito Abierto (V_{oc})**
Es la tensión para la cual los procesos de recombinación igualan a los de generación y, por lo tanto, la corriente que se extrae de la celda solar es nula. Constituye la máxima tensión que puede extraerse del módulo.
- **Potencia Máxima**
Es el producto del valor de tensión máxima (V_M) e intensidad máxima (I_M) para los que la potencia entregada a una carga es máxima. La potencia máxima que puede alcanzar en condiciones estándar se le denomina potencia pico, y su unidad de medida es el Vatio pico (Wp).
- **Eficiencia**
Se define como el cociente entre la potencia máxima entregada a la carga (P_M) y la potencia eléctrica que incide sobre la superficie (P_L); siendo P_L definida como el producto de la irradiancia incidente multiplicada por el área del módulo. Se asocia al porcentaje de la energía convertida y almacenada, cuando una celda solar está conectada con un circuito eléctrico.

$$\eta = \frac{P_M}{P_L}$$

Donde:

η : eficiencia de la celda solar

P_M : Potencia Máxima entregada a la carga (W)

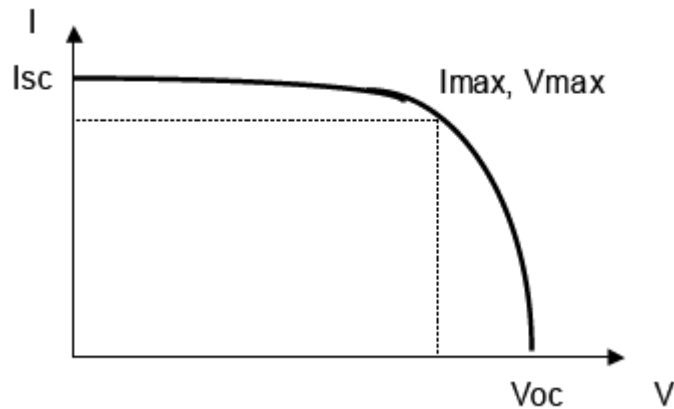
P_L : Potencia incidente sobre la superficie de la celda solar (W)

$$P_L = G \times A_c$$

Donde:

G: Irradiancia en W/m² bajo condiciones estándar (STC)

A_c : Área superficial (m²)



Gráfica. Curva Característica I vs V de una Celda Solar

Los datos aportados por los fabricantes dependerán de las condiciones o valores de radiación, inicialmente se informaba del comportamiento en condiciones estándar, pero se han incorporado otras condiciones.

Condiciones de prueba estándar (STC)

La STC especifica una temperatura de 25 °C y una irradiancia de 1000 W/m² con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5)

Temperatura de Operación Nominal de la Célula (NOCT)

Es la temperatura que alcanzan las células cuando se le somete a una irradiación de 800W/m², temperatura ambiente de 20°C, una velocidad del viento de 1m/s y una distribución espectral AM 1,5.

Condiciones nominales de operación para baja irradiación

Irradiación de 200 W/m², una temperatura de 20°C, una velocidad de viento de 1 m/s y una masa de aire AM=1,5.

Tecnologías utilizadas en los Módulos.

Existen diversos tipos de tecnologías utilizadas en la fabricación de módulos fotovoltaicos. Según la norma IEEE std 1562 los tipos más utilizados son:

- **Módulo Fotovoltaico de Silicio Monocristalino y Policristalino**

Este tipo de módulo son los más usados y constituyen aproximadamente el 80 % de los paneles fotovoltaicos existentes en el mercado. Los módulos de silicio monocristalino son ligeramente más eficientes que los módulos de silicio policristalino, sin embargo, la eficiencia del módulo empleada en una u otra tecnología son muy similares entre sí.

La eficiencia de este tipo de paneles solares según datos aportados por los fabricantes es de aproximadamente del 10 al 18 %.

Una eficiencia alta es importante en aplicaciones donde la disponibilidad del área es limitada, por ejemplo en la azotea de una casa o edificio, sin embargo todos los tipos de módulos solares funcionarán en la medida que no existan obstáculos que interfieran la incidencia del sol. Una pequeña sombra provocada por un obstáculo como por ejemplo la rama de un árbol ocasiona una disminución de la tensión de salida del módulo aunque los módulos de silicio cristalino (silicio monocristalino o silicio policristalino) son menos afectados por el efecto de sombras ocasionadas por obstáculos que interfieren la incidencia del sol.

La potencia de este tipo de paneles solares es de aproximadamente 300 W, según la norma IEEE.

- **Módulo Fotovoltaico de Silicio Amorfo**

Este tipo de tecnologías se caracteriza por ser de película delgada. En sus inicios, los fabricantes de módulos fotovoltaicos se basaron en tecnologías de película delgada a fin de disminuir los costes de producción del módulo.

La eficiencia de este tipo de tecnología es baja, d aproximadamente del 5 al 7 % lo cual es una desventaja debido a que al usar este tipo de tecnología se debe incrementar el tamaño del módulo fotovoltaico si se desea conseguir eficiencias similares a las conseguidas por paneles de silicio monocristalino.

Como se explicó anteriormente todos los tipos de módulos solares funcionan de manera óptima cuando el cielo está despejado y en temperaturas que no sean demasiado elevadas, sin embargo, los módulos de silicio amorfo presentan una ventaja sobre los módulos de silicio cristalino debido a que en temperaturas elevadas la tensión de salida en estos módulos no disminuye tanto como ocurre en los módulos de silicio cristalino. La potencia de este tipo de paneles solares es de aproximadamente 128 W.

- **Módulo Fotovoltaico de Diselienuro de cobre - Indio**

Este tipo de tecnología es relativamente nueva existente en el mercado de paneles solares representando un poco más del 0,5 % de las ventas mundiales. Una de las ventajas de este tipo de tecnología es que representa la eficiencia más alta de todos los módulos de película delgada disponibles en el comercio obteniéndose eficiencias del orden de 9,5 % aproximadamente.

Los módulos fotovoltaicos de diselienuro de cobre e indio disponibles alcanzan hasta 80 W.

- **Módulo Fotovoltaico “HIT” (Heterounión con capa fina intrínseca)**

Presenta la eficiencia más alta alcanzada en la práctica, lo cual permite realizar instalaciones de mayor capacidad aunque su desventaja es el incremento en los costes. La característica básica de este tipo de tecnología es que se compone de una capa de silicio monocristalino rodeado de capas de silicio amorfo ultra-delgado.

- **Módulo Fotovoltaico de Teluro de Cadmio**

La norma IEEE std 1562-2007 hace referencia a que esta tecnología es relativamente nueva y no es muy difundida debido a que las ventas a nivel mundial de este tipo de paneles alcanzan el 0,5 %.

La eficiencia de este tipo de módulos fotovoltaicos alcanza un 6,5 % aproximadamente, lo cual es una eficiencia mucho menor a las tecnologías anteriormente explicadas referida en la mencionada norma. Los módulos fotovoltaicos alcanzan hasta 65 W.

Los módulos fotovoltaicos bifaciales se han convertido en una de las grandes promesas de la industria. A través de sus dos caras puede generar más energía eléctrica por unidad de superficie, en comparación de las tecnologías actuales de módulos que generan energía sólo por una de sus caras. A modo de establecer una base de comparación sustentada en mediciones reales, la empresa Phineal en conjunto con dos centros de investigación, han instalado dos sitios de referencia en Santiago y Valparaíso para analizar las ventajas tecnológicas en la producción de esta tecnología bifacial y compararla con otras dos tecnologías comerciales (Si-po y CdTe).

Tecnología PERC

El desarrollo orientado a mejorar el rendimiento de los módulos permitió la colocación de una capa reflectante para aprovechar al máximo la radiación.

El termino PERC proviene de Passivated Emitter Rear Cell, y se relaciona a la colocación de un material dieléctrico pasivo entre la capa de aluminio y la capa base de silicio, para conseguir que los fotones de la luz infrarroja no penetren hasta la capa de aluminio, sino que sean reflectados y permitan generar corriente entre la capa base y la emisora. Este aprovechamiento de la luz infrarroja proporciona a la célula PERC una mayor “sensibilidad” ante longitudes de onda larga.

Normalmente estas longitudes de onda están más presentes cuando el sol incide con cierta inclinación, es decir durante las primeras y últimas horas del día o durante los días nublados con radiación baja.

Esto permite que los módulos con tecnología PERC presenten una eficiencia superior al resto de módulos convencionales (tanto monocristalinos como policristalinos).

Tecnología Bifacial

Los módulos bifaciales permiten el aprovechamiento de la radiación por ambos lados, presentando las siguientes ventajas:

- Ganancia bifacial de hasta un 27,3% para algunos módulos y dependiendo de la superficie reflectora (ej: pintura blanca, nieve, arena).
- Eficiencia superior al 20%, tanto en la parte frontal, como en la parte posterior.
- Degradación anual de -0,6% año, es decir, se garantiza un mínimo del 83,6% de potencia nominal tras 25 años.
- Puede soportar una carga frontal de hasta 6000 Pa (representa la carga por altura de nieve de más de 1,8m) y una carga trasera de 5400 Pa (representa una fuerza de viento de hasta 93 m/s).

Especificaciones generales de los módulos.

- Los módulos deberán satisfacer las condiciones de operación establecidas en la norma IEC 60904 para módulos de silicio.
- Se utilizarán módulos que se ajusten a la características técnicas establecidas, siendo del mismo modelo y totalmente compatibles entre ellos en el montaje y conexión.
- Los módulos deberán llevar los diodos de derivación para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales y tendrán un grado de protección IP65.
- Los marcos serán de aluminio anodizado, color plata.
- Para que un módulo resulte aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar deberán estar comprendidas en el margen $\pm 5\%$ de los correspondientes valores nominales de catálogo.
- Por motivos de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador, se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, etc) para la desconexión, de forma independiente y en uno de los terminales de cada una de las ramas del resto del generador.

Acumuladores.

Los acumuladores o baterías son elementos de almacenamiento de la energía eléctrica que se produce en horas de mayor incidencia solar para su posterior utilización.

Los acumuladores usados en sistemas fotovoltaicos son de ciclo de descarga profundo las cuales están diseñadas para soportar descargas muy lentas sin que se ocasione daño alguno (norma IEEE 1013-2000).

Características Eléctricas de los Acumuladores.

Los acumuladores empleados en cualquier instalación de este tipo poseen características importantes que las definen y de vital importancia en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.

Capacidad Nominal

Es un parámetro dado en Amperio-hora (Ah) el cual se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante, siendo el valor de Ah el valor de corriente que puede suministrar el acumulador en un determinado tiempo de descarga que resulta cuando un acumulador en estado de plena carga es descargado a corriente constante hasta alcanzar una tensión de corte especificado por el fabricante.

La información de capacidad reportada por los fabricantes está vinculada por subíndices: C_{100} , C_{20}

C_{20} indica que el valor aportado en Ah proporciona un valor de corriente durante el tiempo de 20 h, con una característica de carga constante. Por ejemplo, C_{20} de 200 Ah indica una corriente de 10 A durante un tiempo de 20 horas.

Profundidad de Descarga (DOD).

Es un parámetro que expresa la cantidad de amperios-hora (Ah), extraídos del acumulador completamente cargado y cuyo resultado es suministrado como un porcentaje de la capacidad nominal de la batería.

Capacidad de Energía Almacenada.

Es la energía, por lo general expresada en Vatio - hora (Wh), que un acumulador completamente cargado puede entregar en ciertas condiciones especificadas.

Autodescarga

Este parámetro se define en la norma IEEE 1013-2000 como el proceso en el cual se reduce la capacidad a consecuencia de reacciones químicas producidas en el interior.

El acumulador siempre se está autodescargando, aunque no esté conectado a nada. La velocidad de autodescarga depende de la temperatura ambiente y del tipo de acumulador. A temperaturas superiores a 55 °C, la autodescarga ocurre de forma más rápida.

Ciclo de Vida

Se define como el número de ciclos de carga y descarga que puede soportar el acumulador antes finalizar la vida útil.

Tipos de Acumuladores.

Plomo Acido.

En los sistemas fotovoltaicos existen varios tipos de acumuladores, entre los que destacan los acumuladores de plomo-ácido, Niquel Cadmio, Niquel-Hidruro Metálico, Gel, Litio, entre otros.

Los acumuladores de plomo-acido son ampliamente utilizados en sistemas fotovoltaicos y se pueden clasificar a su vez en dos tipos:

Plomo Acido con ventilación

Se caracterizan por presentar placas sumergidas en un electrolito líquido. El volumen de electrolito es suficiente para permitir una pérdida razonable de agua a causa de la evaporación y la electrólisis asociada a la sobrecarga del acumulador.

Este tipo presentan aberturas en su cubierta, permitiendo de esta manera el libre intercambio de los gases producidos con la atmósfera y la pérdida de agua puede ser reducida con la ayuda de recombinadores catalíticos.

Plomo Acido de válvula regulada

Se caracterizan por placas en contacto con una cantidad limitada de electrolito. La pérdida de agua se reduce al mínimo durante la sobrecarga debido a la recombinación de oxígeno. Estos acumuladores reciben el nombre de VRLA (valve regulated lead ácido) o de plomo ácido con válvula de regulación la cual permite el exceso de presión, principalmente hidrógeno, como consecuencia de una sobrecarga producida en el acumulador.

Existen dos tipos VRLA: de **Gel** y las **AGM**.

Los acumuladores de **Gel** poseen el ácido en forma de gel, evitando así, en caso de rotura, cualquier pérdida que pudiese ocasionar un líquido. Poseen una baja corrosión y resisten bien las bajas temperaturas. Su comportamiento frente a descargas profundas es mejor que el de los acumuladores líquidos.

La vida útil de estas baterías es de unos 7 años.

Como inconvenientes, se indica que al poseer una resistencia interna más elevada (lo que reduce el flujo máximo de corriente) son más delicadas de cargar, también hay que destacar que su precio es más elevado.

Los acumuladores **AGM** (Absorption Glass Mat) poseen un contenido de ácido fijado en fibras de vidrio. Este tipo también es conocido como “batería seca” ya que su contenido de ácido es reducido.

Su vida útil ronda los 5 años.

Este tipo de batería se provee de su propia agua, ya que realiza una recombinación con el hidrógeno y el oxígeno generado durante el proceso de carga.

Poseen un comportamiento aceptable aún en climas fríos y poseen la mayor eficiencia de todos los acumuladores de plomo, llegando a alcanzar hasta el 95% de eficiencia. Son más vulnerables frente a descargas profundas.

OPzS o Tubular.

Estos acumuladores están compuestos por vasos de 2 V, los cuales se combinan entre sí para poder formar s acumuladores de 12, 24 o 48 V.

La vida útil puede llegar a alcanzar hasta 20 años.

Permiten profundos ciclos de descarga diarios con muy buenos resultados ante cualquier tipo de consumo. Poseen un bajo nivel de autodescarga. Como mantenimiento hay que vigilar que el electrolito permanezca sumergido en agua destilada para su correcto funcionamiento.

En condiciones normales, habrá que realizar este mantenimiento cada 2-3 años.

Los acumuladores en los sistemas Fotovoltaicos dan lugar a varios riesgos de seguridad:

- Generación de gas hidrógeno durante el proceso de carga.

- Corrientes de cortocircuito elevadas
- Electrolito ácido o cáustico
- Posibilidad de descarga eléctrica

Los acumuladores de plomo – ácido abiertos producen gas hidrógeno cuando se cargan a un ritmo elevado, o cuando la tensión de los terminales alcanza los 2,3 – 2,4 Volt por elemento. Incluso los acumuladores sellados pueden desprender gas hidrógeno bajo ciertas condiciones. Este gas, si se concentra y no se ventila adecuadamente, puede causar una explosión. La cantidad de gas generado es función de la temperatura del acumulador, su tensión, la corriente de carga y el tamaño del banco de baterías.

Litio

Los acumuladores de ion de litio (Ion-Litio de fosfato de hierro - LiFePO_4), también denominados Li-Ion o simplemente acumuladores de litio, emplean como electrolito una sal de litio para conseguir los iones necesarios para las reacciones electroquímicas para almacenar o entregar energía. Su alta degradación y sensibilidad a altas temperaturas con riesgo de explosión o inflamación, obliga a incluir en la batería de litio sistemas de seguridad que encaren estos acumuladores.

Los acumuladores de litio tienen grandes ventajas frente a los convencionales:

- Excelente respuesta frente a descargas profundas y sin efecto memoria, por lo que se pueden descargar al 100%.
- Mientras una batería de plomo-ácido puede necesitar entre 8 y 12 horas, las de litio necesitan un máximo de 4 horas.
- Pueden cargarse en cualquier momento del estado de carga sin reducción de su vida útil.
- Tienen mayor nivel en densidad de capacidad.
- Presentan mayor capacidad de almacenamiento y una vida útil mayor.
- Son totalmente seguras y fiables.
- Baja autodescarga
- Fabricadas con componentes muy ligeros que ha permitido formar acumuladores de varias formas, ligeros y con rendimientos mucho más altos que las baterías convencionales.

Las baterías de Ion-Litio presentan en la actualidad dos problemas principales:

- Son más caras en comparación con sus equivalentes en plomo ácido para la misma capacidad.
- Son más inestables, y por tanto necesitan un controlador de la tensión y la temperatura de las celdas. Es por ello que los acumuladores de Ion-Litio necesitan un controlador BMS (Battery Management System).

Determinación del acumulador.

Por ser una instalación de tipo autónoma, es necesario poder satisfacer la demanda de la escuela, a lo largo de todas sus horas de uso, es por esta razón que es necesario el uso del grupo del banco de acumuladores que puedan almacenar la energía durante las horas de sol, para luego ser usada en las horas donde no se cuente con la generación de energía por parte del sistema fotovoltaico.

También es importante definir la cantidad de días de autonomía que pueda tener el grupo del banco de baterías, así como las horas de uso diario.

Para la selección del acumulador o del grupo del banco de batería se tomará el consumo diario E_D , que se debe pasar a Ah/día. Se denominará L_D

$$L_D = \frac{E_D}{V_{nom}}$$

Donde:

V_{nom} : Tensión de la batería que coincide con la instalación.

La capacidad de las baterías se calcula

$$C_{100} = \frac{L_D * A}{P_{Dmax} \eta_{Regulador} \eta_{Acumulador} \eta_{Inversor}}$$

Donde:

C_{100} : Capacidad del acumulador en Ah.

A : Autonomía del sistema en días.

L_D : Consumo diario medio de la carga en Ah.

P_{Dmax} : Profundidad de descarga máxima.

$\eta_{Regulador}$: Rendimiento en tanto por uno del regulador

$\eta_{Acumulador}$: Rendimiento en tanto por uno del acumulador

$\eta_{Inversor}$: Rendimiento en tanto por uno del inversor

Reguladores

La norma IEEE std 1562 indica que un regulador o controlador de carga es un dispositivo electrónico cuyo objetivo principal es proteger al acumulador contra descargas o sobrecargas. Entre las características más importantes señaladas en dicha norma destacan protección contra sobrecorriente, compensación de temperatura en los casos que la temperatura de acumulador se desvíe considerablemente de los 25 ° C, la desconexión cuando ha finalizado el proceso de descarga, evitando de esta manera una sobredescarga.

Tipos de Reguladores

Existen diversos tipos de reguladores: Shunt, Serie, PWM y PPMT.

En la actualidad son más comunes los reguladores PWM y MPPT, siendo este último los más utilizados.

Regulador Controlado por Ancho de Pulso (PWM)

Este tipo de regulador es una versión mejorada del regulador serie. El regulador PWM presenta una configuración similar al regulador serie, solo que el cambio de estado del interruptor no se realiza con un relé sino con un interruptor de estado sólido provocando que el flujo de la corriente que circula del arreglo fotovoltaico a la batería puede ser cambiado a altas velocidades (las frecuencias de los fabricantes varían de 1 Hz a kHz), logrando que el regulador PWM controle que tiempo permanecerá abierto o cerrado el interruptor de estado sólido controlando de esta manera más óptima el proceso de carga de la batería, evitando de esta manera variar la tensión para controlar la carga del acumulados.

Regulador MPPT

Este regulador es considerado como el que presenta bastantes ventajas sobre los reguladores estudiados anteriormente. Los reguladores MPPT además de realizar la modulación por ancho de pulso monitorean constantemente la radiación solar recibida permitiendo que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima potencia provocando un mayor rendimiento en la instalación fotovoltaica.

Características estándar del regulador.

Los fabricantes indican diversas características que deben tener los reguladores, entre las generales se indican:

- El sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Este sistema controla las variables eléctricas de los módulos o los arreglos de módulos para ubicarlos en el punto de máxima potencia para el suministro al sistema o banco de baterías y la carga.
- Protección contra fallas a tierra.
- Sistema de enfriamiento por ventiladores o convección.
- Sistema de carga de los acumuladores de dos o tres etapas.
- Salidas auxiliares configurables.
- Protección de las entradas contra sobretensiones, protección de las salidas contra sobrecorriente.
- Sensor de temperatura de los acumuladores; permite la carga compensada por temperatura.
- Garantía de cinco a diez años, dependiendo del fabricante.

Inversores

En los sistemas fotovoltaicos conectados a la red el inversor cumple dos funciones principales, ser el elemento encargado de controlar el punto de operación del generador fotovoltaico y adecuar la potencia entregada por el generador en continua a las características de tensión alterna suministrada de la red eléctrica.

Tipos de Inversores

Inversores centralizados

Inicialmente los sistemas fotovoltaicos conectados a la red estaban conformados por un solo inversor centralizado conectado a su vez a un solo generador fotovoltaico, el cual está conformado por módulos fotovoltaicos conectados en serie formando de esta manera “strings” hasta obtener el voltaje de entrada del inversor y a su vez estos strings eran conectados entre sí en paralelo hasta alcanzar la potencia nominal requerida por el inversor.

La configuración provoca en el sistema fotovoltaico pérdidas considerables. Por un lado, debido a que cuando un string es sombreado parcialmente se producen desacoplamientos importantes entre los diferentes strings lo cual dificulta el seguimiento del punto de máxima potencia. Además, muchos strings funcionando en paralelo puede ocasionar pérdidas por desacoplamiento de voltaje a consecuencia que el generador fotovoltaico opera al voltaje más bajo del string.

La desventaja principal de este tipo de inversores desde el punto de vista tecnológico es que la conmutación de los primeros inversores centralizados se realizaba con la ayuda de

tiristores, los transformadores al ser de baja frecuencia ocasionaban la necesidad de instalar inversores de grandes dimensiones y poco eficientes.

Inversores String

Después de los inversores centrales surgieron los inversores string, cada string está compuesto por módulos conectados en serie conectados a la entrada de cada inversor.

La configuración presenta unas pérdidas muchos menores a las presentadas en los inversores centralizados debido a que con los inversores string se logra alcanzar altos voltajes y corrientes bajas. Sin embargo, como desventaja principal en que este tipo de inversores están limitados a potencia inferiores a 3 kWp.

Desde el punto de vista tecnológico surgió el uso del transistor IGBTs como el dispositivo encargado de realizar la conmutación de los inversores y los transformadores utilizados pasaron a ser de alta frecuencia, mejorando así el rendimiento de la instalación fotovoltaica.

Inversores modulares o módulo de AC

Este tipo de inversores eliminan el cableado de continua y van conectados directamente a la línea AC.

No obstante deben incorporarse en un solo módulo convertidores DC-DC con regulador MPPT, circuitos de filtrado, protecciones de AC, transformadores de aislamiento provocando que sea mucho más difícil el control de interferencias electromagnéticas y presentándose problemas de armónicos en la red por razón por la cual los inversores modulares han presentado serios problemas relacionados con la confiabilidad, coste y eficiencia.

Forma de onda:

Según la forma de onda encontramos tres diferentes tipos de inversor

- De onda cuadrada: apto para alimentar exclusivamente aparatos resistivos puros.
- De onda cuadrada modulada: similar al anterior pero aplicable a un mayor tipo de cargas, como iluminación, pequeños motores y equipos no muy sensibles a la alimentación.
- De onda sinusoidal pura: el tipo de onda que proporciona es prácticamente idéntica al aportado por la red eléctrica, por lo que puede alimentar cualquier equipo eléctrico, o puede ser utilizado para conexiones a la red.

Características del inversor:

- Tensión nominal.
- Potencia nominal.
- Capacidad de Sobrecarga: capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal, y el tiempo que puede mantener esa situación.
- Forma de onda: características de la señal a la salida (forma de onda, valores de tensión y frecuencia).
- Eficiencia o rendimiento: relación porcentual entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor.

Criterios generales de selección de los inversores.

Para poder realizar la selección de este dispositivo se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

En lado DC

- Potencia nominal.
- Tensión nominal y tensión máxima admisible.
- Corriente máxima.
- Variación de la tensión en el máximo punto de potencia en condición de funcionamiento estándar.
- Número de entradas pares DC.

En el lado AC

- Potencia nominal.
- Intensidad nominal de carga.
- Tensión máxima y distorsión del factor de potencia.
- Eficiencia con una carga parcial y al 100% de la potencia nominal.

Caja de unión

Una caja de conexión o unión permite conectar eléctricamente paneles, ramas o arreglos entre sí.

- Se utilizan para la conexión en paralelo de las cadenas, paneles o strings.
- Estarán distribuidas para reducir el cableado.
- Se puede colocar la protección contra sobretensión.
- Supervisar la intensidad de las cadenas.
- Interconexión con el regulador o el inversor.

Dependiendo del fabricante estarán equipadas con porta-fusibles de seguridad, fusibles DC, descargadores DC y seccionadores en carga. Al estar a la intemperie se tendrá un grado de protección IP65.

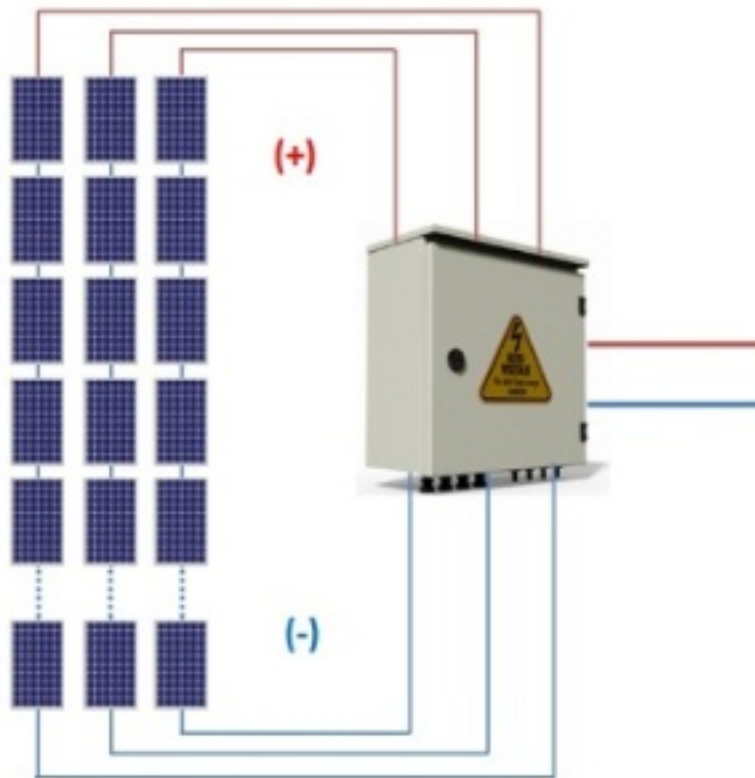


Figura 16. Esquema de conexión.

Fusible.

Protegen el sistema fotovoltaico contra sobreintensidades. Generalmente están dispuestos en cada uno de los ramales que componen el generador fotovoltaico provocando una apertura del circuito en caso de producirse una corriente superior a la máxima corriente admitida por los equipos o los conductores de la instalación fotovoltaica.

Interruptor-Seccionador de CC

La función principal de los interruptores-seccionadores de CC es la de aislar el generador fotovoltaico del resto de los componentes de la instalación, permitiendo realizar labores de mantenimiento o reparación según sea el caso en los módulos solares que conforman el generador fotovoltaico.

Uno de los criterios a considerar en la elección de los interruptores-seccionadores de CC es la corriente que debe ser capaz de interrumpir en el momento de producirse la apertura del interruptor, así como la tensión de servicio de la línea.

Los parámetros previamente definidos en el caso de la corriente vienen definidos por el producto entre la corriente de cortocircuito de cada uno de los módulos y el número de ramales conectados al interruptor-seccionador mientras que la tensión de servicio del interruptor vendrá dada por la máxima tensión del generador fotovoltaico la cual se da en cada uno de los módulos que conforman el generador fotovoltaico en condiciones de circuito abierto.

Descargadores de Sobretensiones.

Las sobretensiones en Instalaciones Fotovoltaicas son causadas por factores internos y externos. Entre los factores internos están los fallos en componentes, errores de operación y transitorios por conmutación.

De los factores externos, la causa principal de sobretensiones son las descargas atmosféricas; otras causas externas al sistema son transitorios en la red y en la carga local.

Protección eficaz de los paneles fotovoltaicos y todos los elementos que pudieran estar integrados en la instalación, como el inversor. Ensayado y certificado como protector de Tipo 2 según la norma UNE-EN 61643-11 y la GUÍA-BT-23 del REBT.

Es indispensable proveer medios de protección contra sobretensiones en instalaciones fotovoltaicas por varias razones: proteger a los equipos de posibles daños, asegurar la continuidad del servicio que proporcionan y reducir riesgos a las personas que interactúan con el sistema. Para lograr una protección adecuada se deben implementar las medidas de protección que se establecen en la norma IEC.

Las consecuencias principales de las sobretensiones transitorias son la reducción del rendimiento y la vida útil de la instalación, por lo tanto, es deseable considerar cuando sea necesario las protecciones contra sobretensiones para poder garantizar que la instalación sea lo más duradera posible.

La ubicación de los módulos de una instalación fotovoltaica da la posibilidad que sean afectados por las descargas atmosféricas por lo que es necesario la colocación de elementos de protección contra este fenómeno.

Características generales:

- Constituidos por varistores de óxido de zinc adecuados a las tensiones concretas de la instalación eléctrica a proteger. En concreto, llegan a proteger inversores con tensión de entrada en abierto de 1000 VDC.
- Tiempo de respuesta corto.
- No producen deflagración.
- Protección con módulos desenchufables.
- No producen interrupción de las líneas de suministro.
- Dispositivo termodinámico de control y avisador mecánico. Cuando esté amarillo, cartucho en buen estado, si no habría que sustituir el cartucho.

Los protectores quedan instalados en paralelo con la línea, sin afectar en absoluto a su funcionamiento en condiciones normales.

Estructura de soporte

La estructura soporte, asegura el anclaje de los módulos y proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación. Pueden tener un ángulo fijo o un ángulo móvil.

El diseño y construcción de la estructura, al igual que los sistemas de fijación de los módulos deben soportar los embates del viento y la lluvia. Además de permitir dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos.

Los módulos deben tener suficientes puntos de sujeción teniendo en cuenta el área de apoyo, de manera que no se produzcan flexiones mayores a las permitidas por el fabricante.

La estructura debe diseñarse teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje para la posible necesidad de sustituir elementos.

Es recomendable que la tornillería o cualquier otro elemento de soporte sean de acero inoxidable capaces de aguantar la carga y las inclemencias del tiempo.

Es indispensable que cualquier elemento de sujeción o de la propia estructura no arroje sombras sobre los módulos.

La distancia mínima de separación entre cada una de las filas de módulos que componen el arreglo a fin de garantizar que no se produzcan sombras, para el cálculo se utiliza la ecuación de referencia en el pliego de condiciones técnicas del instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE) Madrid, España.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

Donde:

d: distancia mínima de separación (m).

h: altura de elevación de los módulos fotovoltaicos, según el ángulo de inclinación de los mismos (m).

Latitud: latitud del lugar donde se diseñará la instalación fotovoltaica (°).

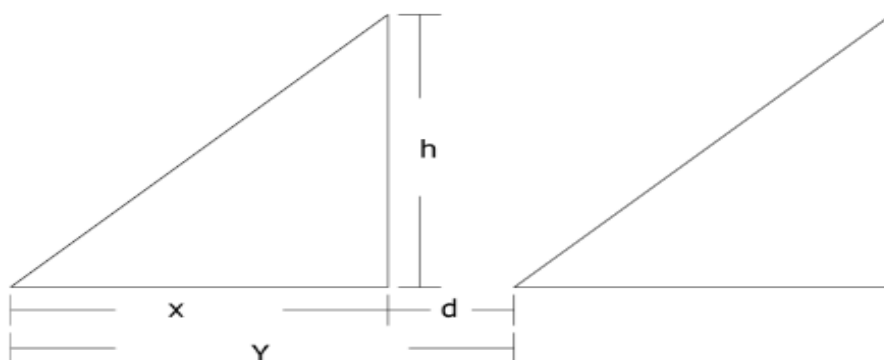


Figura 17. Separación de las estructuras de soporte.

Se calcula la sombra proyectada sobre la horizontal de cada módulo así como la altura respecto al suelo y la distancia mínima de separación que debe existir entre cada una de las filas de estructuras del arreglo.

$$x = \text{longitud del módulo} * \cos \beta$$

Donde:

x: proyección del módulo fotovoltaico sobre el suelo (m)

β : ángulo de inclinación respecto al suelo del arreglo fotovoltaico (m)

$$h = \text{longitud del módulo} * \text{sen } \beta$$

$$Y = x + d$$

Las estructuras se deben conectar a tierra.

Existe una amplia gama de estructuras y soportes para paneles solares según el número que necesitemos colocar, la orientación que se quiera dar y el emplazamiento.

Existen diferentes tipos de estructuras para módulos fotovoltaicos según sea la superficie donde se vayan a instalar:

- **Estructura para cubierta metálica:** diseñadas para poder instalar las placas solares sobre una cubierta metálica con cierta inclinación. La inclinación de la estructura y la cubierta será la misma.
- **Estructura para cubierta de teja:** Están diseñadas para poder anclar los paneles solares a cualquier tejado de teja. Se trata de una estructura de tipo coplanaria ya que no se puede modificar el ángulo de caída del tejado. Este tipo de estructuras sobre tejas, permiten no tener que perforarlas en el caso de que estén sueltas, ya que incluyen un salvateja que permite anclar la estructura y poner encima los perfiles sobre los que se sujetan los paneles solares.
- **Estructura elevada:** Este tipo de soporte, permite instalar las placas solares a cierta altura (unos 3 metros) con orientación sur. En este tipo de soporte se podrán instalar de 1 a 12 paneles solares. Tiene una garantía de 25 años.
- **Estructura para suelo:** Como bien indica su nombre, es una estructura adaptada para poder instalar las placas solares sobre suelo o sobre una cubierta plana. Disponemos de varios ángulos de inclinación 20°-25°-30°. Las estructuras llevan incluidas toda la tornillería para el anclaje de los paneles solares.
- **Estructura para pared:** Esta estructura es la solución definitiva para poder instalar los paneles solares sobre una superficie que es plana vertical y así poder darles la inclinación adecuada para maximizar la producción de los mismos.

Tipos de Estructuras para Paneles Solares

Existen distintas denominaciones para las estructuras de paneles solares según el lugar donde vayan a situarse:

- **Estructuras tipo “B” y tipo “H”:** son aquellas que se sitúan en una columna, de manera que el panel queda suspendido en el aire.
- **Estructuras solares de tipo “V”,** que se sitúan sobre el suelo o en terraza plana.
- **Estructuras tipo “A”,** para paneles de potencias entre 280 y 325W sobre suelo.
- **Estructuras tipo “S”** donde el panel se apoya sobre la estructura, y ésta con una determinada orientación con el suelo.



Figura 18. Estructura para paneles solares sobre suelo.

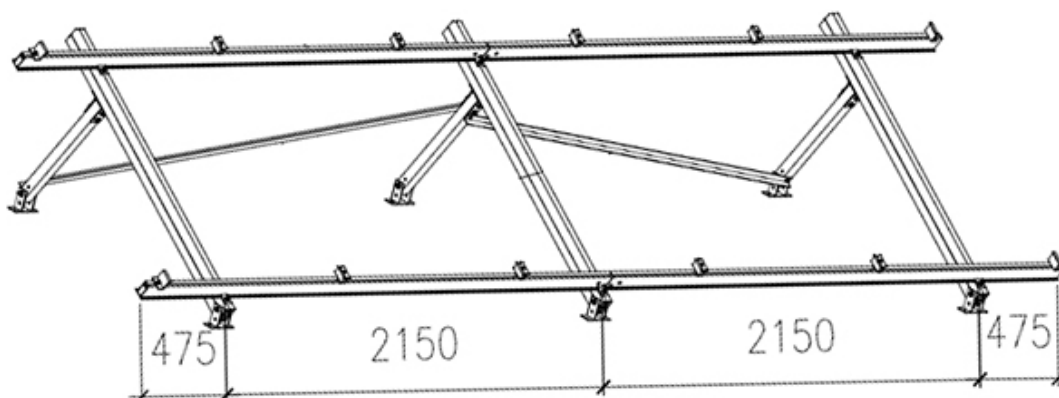


Figura 19. Estructura para paneles solares sobre suelo.

Puesta a tierra de instalaciones fotovoltaicas

Las puestas a tierra se establecen principalmente con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

La puesta a tierra en este tipo de instalaciones es un requerimiento obligatorio, indicado en las normas y en todos los elementos y equipos del sistema. La instalación de la puesta a tierra debe ser analizada y determinada antes de realizar la instalación fotovoltaica.

Se considerará como puesta a tierra los elementos que dispersan la corriente del rayo en tierra. También se incluye elementos para la equipotencialización de las masas metálicas de la instalación.

La puesta a tierra comprende tanto la puesta a tierra de los equipos (tierra de protección) como la puesta a tierra de un conductor activo (tierra del sistema).

Cuando se decida poner a tierra las partes metálicas expuestas hay aspectos importantes que el diseñador e instalador deben tener presente:

- Los módulos disponen en el marco de un orificio específico para su puesta a tierra. Para asegurar un buen contacto eléctrico, se recomienda utilizar un terminal de conexión de acero inoxidable.
- Es recomendable que el conductor de protección a tierra no se atornille directamente al marco de los paneles, sino hacerlo por medio de un terminal auxiliar, de modo que se pueda quitar un módulo (por avería, mantenimiento, etc.) sin interrumpir la conexión a tierra del resto de la instalación.
- La simple conexión de los marcos de los módulos a una estructura anclada en el suelo no se considera como una puesta a tierra eficaz.
- El conductor de protección a tierra de los módulos solares es recomendable que se conecte también a un punto de la estructura.
- Los conductores de protección deben conectarse al punto de puesta a tierra de la instalación, que a su vez se conectará al electrodo principal de tierra (generalmente de tipo pica o jabalina) a través del conductor de enlace.
- Las secciones de los conductores de protección y de enlace, y las características de los electrodos de tierra (dimensiones, conexiones, etc.), cumplirán lo prescrito en los correspondientes reglamentos electrotécnicos de baja tensión.
- El conductor de puesta a tierra del sistema fotovoltaico debe ser desnudo, o ir protegido bajo tubo.

Cuando se decide poner a tierra un conductor activo de corriente continua (para utilizar dispositivos de corte y protección unipolares, para el buen funcionamiento del inversor, para la detección de defectos, etc.), también hay ciertos aspectos importantes que el instalador debe tener en cuenta:

- El sistema debe ponerse a tierra en un único punto, llamado tierra del sistema. De no ser así, existe la posibilidad de que circule corriente por los conductores de protección, lo que provocaría que el funcionamiento de los reguladores de carga y de los inversores se volviese poco fiable. Además, estas corrientes podrían interferir en el funcionamiento de los dispositivos detectores de defectos y de protección contra sobreintensidades.

Capítulo 4

Memoria de cálculo.

Estimación de carga

Para estimar la carga total se tendrá en cuenta dos situaciones.

Condición 1: La utilidad del centro será la de impartir clases de agricultura a niños mayores de 16 años.

Condición 2: La utilidad del centro será hacer de dispensario, con una sala de enfermería básica y en la cual se puedan impartir clases de enfermería para intentar reducir los contagios que existen en la zona.

Condición 1. Etapa inicial, tres aulas.

Las características de carga en esta condición toman como referencia el informe de Endesa de 2018.

Estimación de área del aula.

Según regulación del 2016, es obligatorio un mínimo 1,5 m² por estudiante por lo tanto se estima una capacidad máxima de 40 alumnos por aula, siendo que el área del aula de 60 m².

Equipos o cargas a tener en cuenta.

Los equipos considerados cumplen con los valores estándar:

- Tensión 220 V
- Frecuencia 50 Hz.

Sistema de iluminación.

El sistema de iluminación debe toma en cuenta las siguientes características:

- Bajo consumo
- Vida útil alta
- Cumplir con los requerimientos lumínicos de la norma UNE-EN 12464-1:2012
- Controlable
- Sistema de apagado manual y automático

La norma establece como requisitos lumínicos para edificios educativos los siguientes valores mostrados en la Tabla 2.

Tabla 3. Nivel Iluminación media en Edificios Educativos

Tipo de interior, tarea y actividad	E _m [lx]	UGR	R _a
Aulas, aulas de tutoría	300	19	80
Aulas para clases nocturnas educación de adultos	500	19	80
Sala de lectura	500	19	80
Pizarra	500	19	80

Para cumplir con lo establecido se selecciona la tecnología led con ser dispositivos de bajo consumo y una vida útil promedio de 50.000 horas.

Entre las luminarias existentes en el mercado se selecciona la luminaria marca **Phillips** modelo **CoreLine SM120V**, que presenta las siguientes características:

- Lámpara: Philips Fortimo LED Line 1R
- Potencia: 40 W
- Flujo luminoso: 3400 lm
- Temperatura de color: 4000 K
- Reproducción cromática >80
- Vida útil media L80B50 50.000 horas
- Tensión de red: 220-240 V / 50-60 Hz
- Regulación: Regulable
- Entrada del sistema de control: DALI

Para el aula se determina que con 9 luminarias se obtiene un flujo luminoso promedio ligeramente superior a los 500 lux requeridos en un aula de clase.

Se considera que no habrá aporte de la luz natural durante el día y la actividad académica en las aulas pueden prolongarse hasta la 8 de la noche, iniciando a las 8 de la mañana. Esta referencia establece una duración de 12 horas de uso.

El precio de la luminaria es de 70,28 €.

Ordenadores.

Se estima la posibilidad de utilizar un ordenador por cada dos estudiantes, estableciendo 20 equipos por aula, más el ordenador del docente que se supone que lo tendrá de manera ininterrumpida.

Para realizar los cálculos tomaremos como referencia un ordenador HP DC 799 SFF (modelo común de bajo coste) y una pantalla externa. Las especificaciones técnicas las podremos encontrar en la siguiente tabla:

Tabla 4. Consumo de ordenadores

	CPU	Pantalla
ON	50.56 W	18.84 W
STBY	2.34 W	-
OFF	1.06 W	0.15 W

Despreciando las horas en las que los ordenadores se encuentran en STBY o apagados suponemos que la potencia de cada ordenador será de 70 W, considerando CPU + pantalla.

El tiempo estimado de uso es de 9 horas diaria.

Tabla 5. Consumo de la condición 1

Sistema	Cantidad	Potencia Total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Iluminación	27	40	12	12,96
Ordenadores	63	70	9	39,69

Energía total diaria: **52,65 kWh**

Condición 2. Segunda Etapa, aula de enfermería más pequeño quirófano.

Las características de carga en esta condición toman como referencia el informe de Endesa de 2018.

Estimación de área del aula.

Según regulación del 2016, es obligatorio un mínimo 1,5 m² por estudiante por lo tanto se estima una capacidad máxima de 40 alumnos por aula, siendo el área del aula de 60 m².

Equipos o cargas a tener en cuenta.

Sistema de iluminación.

El sistema de iluminación debe toma en cuenta las siguientes características:

- Bajo consumo.
- Vida útil alta
- Cumplir con los requerimientos lumínicos de la norma UNE-EN 12464-1:2012
- Controlable.
- Sistema de apagado manual y automático,

La norma establece como requisitos lumínicos para edificios educativos los siguientes valores mostrados en la Tabla 5. Así como, los requerimientos para salas de enfermería y primeros auxilios Tabla 6.

Tabla 6. Nivel Iluminación media en Edificios Educativos

Tipo de interior, tarea y actividad	E _m [lx]	UGR	R _a
Aulas, aulas de tutoría	300	19	80
Aulas para clases nocturnas educación de adultos	500	19	80
Sala de lectura	500	19	80
Pizarra	500	19	80

Tabla 7. Nivel Iluminación media en Salas de descanso, sanitarias y de primeros auxilios

Tipo de interior, tarea y actividad	E_m [lx]	UGR	R_a	U_o
Enfermería	500	19	80	0,6
Salas para atención médica	500	16	90	0,6

Se seleccionaron luminaria Phillips con lámparas led que garantizan mayor vida útil que las lámparas fluorescentes. La potencia de cada luminaria es de 40 W, con un alto valor de factor de potencia. El modelo **CoreLine SM120V** cumple con los requerimientos lumínicos de los espacios de aula y los de enfermería.

Para el aula se determina que con 9 luminarias se obtiene un flujo luminoso promedio ligeramente superior a los 500 lux requeridos en un aula de clase.

Se considera que no habrá aporte de la luz natural durante el día y la actividad puede académica en las aulas pueden prolongarse hasta la 8 de la noche, iniciando a las 8 de la mañana. Esta referencia establece una duración de 12 horas de uso.

Ordenadores.

De nuevo se considera suficiente el uso de un ordenador cada dos estudiantes, estableciendo 20 equipos por aula, más el computador del docente.

Tomando como referencia los mismos equipos utilizados para la condición 1 la potencia de cada ordenador será 70 W, considerando CPU + pantalla.

El tiempo estimado de uso es de 9 horas diaria.

Tabla 8. Equipos básicos asociados a sala del quirófano.

Equipo	Cantidad	Potencia Total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Refrigeradores	2	400	24	19,2
Esterilizador	1	700	2	1,4

Tabla 9. Consumo de las aulas condición 2.

Sistema	Cantidad	Potencia Total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Iluminación	27	40	12	12,96
Ordenadores	43	70	9	27,09

Energía total diaria: 60,65 kWh

La potencia a tener en cuenta para el cálculo de los módulos será de **5,59 kW**

Selección de los módulos.

En el mercado existen más de 60 fabricantes de módulos fotovoltaicos, con distintos modelos y con distintas tecnologías. Para escoger el módulo en este trabajo se evalúan 4 marcas que han estado en los primeros 10 lugares de venta en el mundo: Trina Solar, Jinko, JA y Canadian Solar.

Como base de la selección se tomó como referencia:

- Potencia de 300W, típica para todos los fabricantes.
- Monocristalino, por ser los más económicos.
- Número de celdas iguales a 60, por ser los de mayor distribución.

Los modelos seleccionados son:

- TSM-300DD05A.08(II) de la empresa Trina Solar.
- JKM300M-60 de la empresa Jinko.
- JAM60S02-300/PR de la empresa JA
- CS3K-300MS de la empresa Canadian Solar.

En el análisis se compararán las características eléctricas, mecánicas y eficiencia.

Tabla 10. Comparación de los parámetros eléctricos de los módulos seleccionados.

Marca		Trina Solar	Jinko	JA	Canadian Solar
Modelo		TSM-300DD05A.08(II)	JKM300M-60	JAM60S02-300/PR	CS3K-300MS
Potencia PTC	W	270,6	276,73	275,5	279
Eficiencia	%	18,33	18,33	18,35	18,05
Número de celdas		60	60	60	120
Imp	A	9,19	9,21	9,3	9,24
Vmp	V	32,6	32,6	32,26	32,5
Isc	A	9,77	9,72	9,75	9,82
Voc	V	39,8	40,1	39,85	39,3
NOCT	°C	44	45	45	41
Coefficiente de temperatura de Isc		0,05%/K	0,05%/K	0,06%/K	0,05%/K
Coefficiente de temperatura de Potencia		-0,39%/K	-0,39%/K	-0,39%/K	-0,37%/K
Coefficiente de temperatura de Tensión		-0,115V/K	-0,116V/K	-0,12V/K	-0,114V/K
Valor nominal del fusible	A	20	15	20	30
Tensión Máxima de sistema	V	1000	1000	1000	1000

Tabla 11. Comparación de los parámetros mecánicos de los módulos seleccionados.

Marca	Trina Solar	Jinko	JA	Canadian Solar
Modelo	TSM-300DD05A.08(II)	JKM300M-60	JAM60S02-300/PR	CS3K-300MS
Tipo	Mono PERC	Mono PERC	Mono PERC	Monocrystalline Silicon
Tipo de terminal	Canadian Solar T4	Multicontact Connector Type 4	Multicontact Connector Type 4	Multicontact Connector Type 4
Calibre del cable	12 AWG	12 AWG	12 AWG	12 AWG
Tipo del cable	PV Wire	PV Wire	PV Wire	PV Wire
Longitud del cable	1,160mm	1,000mm	900mm	1,000mm
Largo	1,675mm	1,650mm	1,650mm	1,650mm
Ancho	992mm	991mm	992mm	992mm
Profundidad	35mm	35mm	40mm	35mm
Peso	18,5kg	18,2kg	19kg	18,6kg
Método de instalación	Rack-Mounted	Rack-Mounted	Rack-Mounted	Rack-Mounted

Tabla 12. Comparación de los valores de eficiencia y certificaciones de los módulos seleccionados.

Marca	Trina Solar	Jinko	JA	Canadian Solar
Modelo	TSM-300DD05A.08(II)	JKM300M-60	JAM60S02-300/PR	CS3K-300MS
Periodo de garantía de la potencia de salida al 80%	25yrs	25yrs	25yrs	25yrs
Periodo de garantía de la potencia de salida al 90%	10yrs	12yrs	12yrs	10yrs
Cumplimiento de normas	UL 1703, IEC 61215, IEC 61730	UL 1703, IEC 61215, IEC 61730, CEC, TUV	UL 1703	UL 1703, IEC 61215, IEC 61730, TUV

Tabla 13. Comparación de los precios de los módulos seleccionados.

Marca	Trina Solar	Jinko	JA	Canadian Solar
Modelo	TSM-300DD05A.08(II)	JKM300M-60	JAM60S02-300/PR	CS3K-300MS
Precio	189,21 €	207,22 €	169,38€	179,00 €

Análisis en la selección del módulo.

Como observamos en las tablas anteriores no existe mayor diferencia de los módulos entre los parámetros presentados, pero si en los precios consultados, por lo que el módulo a utilizar en el sistema fotovoltaico es de la empresa **JA** modelo **JAM60S02-300/PR**.

Selección del inversor

En la selección del inversor se debe tener en cuenta las variables de entrada en DC como las variables de salida. Un aspecto que limitará la selección es el valor de tensión de las cargas a conectar que en el país es de 220 V.

Potencia del inversor.

De acuerdo con la estimación de la demanda, será necesario un inversor para transformar la corriente continua que proporcionan los módulos fotovoltaicos y/o los acumuladores en corriente alterna.

$$P_{inversor} = 1,2 \cdot P_{AC} = 1,2 \cdot 5.590 = 6.708 \text{ W}$$

Donde:

P_{AC} = Suma de todas las potencias alternas [W]

Para la instalación se evaluarán dos alternativas:

- Conjunto Inversor y regulador
- Inversor con función de cargar los acumuladores.

Conjunto Inversor y regulador

Se determinará la potencia del inversor teniendo en cuenta que se utilizarán reguladores, para los cálculos de referencia se considerará la información técnica del regulador marca Must, modelo PC1500B- 5048D.

Energía Diaria:

La energía diaria se calcula dividiendo el total calculado entre los valores de rendimientos de los elementos que acompañan a los módulos en la instalación fotovoltaica.

$$E'_{Diaria} = \frac{E_{Diaria}}{\eta_{Regulador} \eta_{Acumulador} \eta_{Inversor}} = \frac{60.650}{0,98 \cdot 0,90 \cdot 0,85}$$

$$E'_{Diaria} = 80.698,95 \text{ Wh/día}$$

Donde:

E_{Diaria} : Consumo de la energía diaria [Wh/día]

$\eta_{Regulador}$: Rendimiento en tanto por uno del regulador

$\eta_{Acumulador}$: Rendimiento en tanto por uno del acumulador

$\eta_{Inversor}$: Rendimiento en tanto por uno del inversor

Energía suministrada por un módulo.

$$E_{Mod} = P_{Mod} \cdot HSP \cdot PR = 300 \cdot 5,09 \cdot 0,90 = 1.374,3 \text{ Wh/día}$$

Donde:

P_{Mod} : Potencia del módulo fotovoltaico [W]

HSP : Horas solares pico en condiciones estándar

PR : Factor global de funcionamiento (Performance Ratio) de valor 0,90

Número de módulos totales

$$Módulos_{Totales} = \frac{E'_{Diaria}}{E_{Mod}} = \frac{80.698,95}{1.374,3} = 58,72 \approx 58$$

Número de módulos en serie

El número máximo de paneles conectados en serie viene determinado por el rango de tensiones de entrada del regulador y por la tensión del circuito abierto máxima de un panel fotovoltaico.

$$Módulos_{Serie} = \frac{V_{Max \text{ Regulador}}}{V_{Max \text{ Mod}}} = \frac{100}{44,05} = 2,27 \approx 2$$

Donde:

$V_{Max \text{ Regulador}}$: Tensión máxima de entrada del regulador [V]

$V_{Max \text{ Mod}}$: Tensión máxima que puede suministrar el módulo fotovoltaico [V]

$$V_{Max \text{ Módulo}} = V_{oc} - \left(\frac{Coef_{V_{oc}}}{1.000} \right) \cdot \Delta T_{Min} = 39,85 - \left(\frac{-120}{1000} \right) \cdot 35 = 44,05$$

Donde:

V_{oc} : Tensión de circuito abierto [V]

$Coef_{V_{oc}}$: Coeficiente de temperatura Voc [mV]

ΔT_{Min} : Diferencia de temperatura [°C]

$$\Delta T_{Min} = T_{STC} - T_{Min} = 25 - (-10) = 35^{\circ}\text{C}$$

Donde:

T_{STC} : Temperatura estándar [°C]

T_{Min} : Temperatura mínima [°C]

Número de ramas de módulo

$$Ramas_{Módulos} = \frac{Módulos_{Totales}}{Módulos_{Serie}} = \frac{58}{2} = 29$$

Inversor con función de cargar los acumuladores.

Los fabricantes de inversores han presentado equipos que cumplen la función de carga de los acumuladores. En esta parte se determinará las características de estos equipos.

Para el cálculo referencial se tomará la información técnica de inversor marca **Must**, modelo **PV35-10K**.

Energía Diaria:

La energía diaria se calcula dividiendo el total calculado entre los valores de rendimientos de los elementos que acompañan a los módulos en la instalación fotovoltaica.

$$E'_{Diaria} = \frac{E_{Diaria}}{\eta_{Regulador} \eta_{Acumulador} \eta_{Inversor}} = \frac{60.650}{0,98 \cdot 0,90 \cdot 0,85}$$

$$E'_{Diaria} = 80.698,95 \text{ Wh/día}$$

Donde:

E_{Diaria} : Consumo de la energía diaria [Wh/día]

$\eta_{Regulador}$: Rendimiento en tanto por uno del regulador

$\eta_{Acumulador}$: Rendimiento en tanto por uno del acumulador

$\eta_{Inversor}$: Rendimiento en tanto por uno del inversor

Energía suministrada por un módulo.

$$E_{Mod} = P_{Mod} \cdot HSP \cdot PR = 300 \cdot 5,09 \cdot 0,90 = 1.374,3 \text{ Wh/día}$$

Donde:

P_{Mod} : Potencia del módulo fotovoltaico [W]

HSP : Horas solares pico en condiciones estándar

PR : Factor global de funcionamiento (Performance Ratio) de valor 0,90

Número de módulos totales

$$Módulos_{Totales} = \frac{E'_{Diaria}}{E_{Mod}} = \frac{80.698,95}{1.374,3} = 58,72 \approx 58$$

Número de módulos en serie

El número máximo de paneles conectados en serie viene determinado por el rango de tensiones de entrada del regulador y por la tensión del circuito abierto máxima de un panel fotovoltaico.

$$Módulos_{Serie} = \frac{V_{Max\ Regulador}}{V_{Max\ Mod}} = \frac{147}{44,05} = 3,34 \approx 3$$

Donde:

$V_{Max\ Regulador}$: Tensión máxima de entrada del regulador [V]

$V_{Max\ Mod}$: Tensión máxima que puede suministrar el módulo fotovoltaico [V]

$$V_{Max\ Módulo} = V_{oc} - \left(\frac{Coef_{V_{oc}}}{1.000} \right) \cdot \Delta T_{Min} = 39,85 - \left(\frac{-120}{1000} \right) \cdot 35 = 44,05$$

Donde:

V_{oc} : Tensión de circuito abierto [V]

$Coef_{V_{oc}}$: Coeficiente de temperatura Voc [mV]

ΔT_{Min} : Diferencia de temperatura [°C]

$$\Delta T_{Min} = T_{STC} - T_{Min} = 25 - (-10) = 35^{\circ}\text{C}$$

Donde:

T_{STC} : Temperatura estándar [°C]

T_{Min} : Temperatura mínima [°C]

Número de ramas de módulo

$$Ramas_{Módulos} = \frac{Módulos_{Totales}}{Módulos_{Serie}} = \frac{58}{3} = 19,33 \approx 19$$

La potencia requerida por la carga que será generada por los módulos será de 19x3x300 = 17.100 W por lo que se requieren tres inversores. El inversor Must, presenta 2 entradas del arreglo fotovoltaico. Requiriendo 6 cajas de conexiones de 3 ramas.

Esta opción requiere menos equipos por los que será la opción seleccionada para el sistema.

Tabla 14. Información técnica de Inversor cargador seleccionado.

Marca	Must
Modelo	PV35-10K
Tensión de salida RMS	220 V
Potencia de salida del inversor	10,0 kW
Frecuencia	50 Hz
Eficiencia del inversor	88 %
Tensión de referencia del acumulador	48 V
Vmax Voc del regulador	147 V
Eficiencia del regulador	98 %
Corriente de carga FV	120 A
Potencia de carga FV	6.400 W
Precio	1.785,67 €

El Inversor Cargador con regulador MPPT Must de la gama PV3500 se caracteriza por:

- Inversor de onda senoidal pura.
- Transformador interno de cobre con aislamiento galvánico.
- Con regulador de carga incorporado MPPT de 120A.
- Con cargador de baterías de entre 70 y 100A según versiones.
- Pantalla LCD multifunción.
- Compatibilidad con todo tipo de baterías de plomo.

Selección de la caja de unión.

Para la instalación se seleccionó la caja de unión marca **ABMGreenPower**. Considerando 19 ramas se requieren de 7 cajas de unión

Estos elementos cuentan con la caja o cuadro de protección series fotovoltaicas, la cual no contempla monitorización.

Se consideran hasta tres ramas o strings como cables de entrada.

Contiene las bases portafusibles y fusibles para continua de 16A y 3 entradas - con protección de fusible.

Salida con seccionador hasta 900Vdc y 40A (1000Vdc de aislamiento), sin contacto auxiliar de estado.

Montado en caja de doble aislamiento con tapa transparente, 380x380x225mm (máximo), IP55.

Entradas con prensaestopas M16 para entrada de cable de strings, de M20 para las salidas de tierra y del seccionador.

Con protector contra sobretensiones de continua clase 2 hasta 1000Vdc, sin contacto auxiliar.

Completo, montado y cableado interno. Según normas IEC.

Precio 242,00 €

Selección de la estructura de soporte.

Para la colocación de los 58 módulos se han seleccionado los soportes en los que se pueden colocar 6 módulos.

Se han escogido los soportes **Sunfer Energy Structures** modelo **CVE915 – CVE915XL**. Cada estructura tiene un precio de 283,81 €

La estructura está diseñada para poder anclar paneles solares fotovoltaicos de un tamaño máximo de 1m de ancho por 1,7m de largo. Diseñada para poder soportar cargas de nieve de hasta 200 N/m², y una carga de viento de 29 m/s.

Los materiales de la Estructura están fabricados íntegramente en aluminio de alta calidad, mientras que la tornillería y accesorios están creados en acero inoxidable.

Cálculo de la distancia mínima de separación.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

Donde:

d: distancia mínima de separación (m).

h: altura de elevación de los módulos fotovoltaicos, según el ángulo de inclinación de los mismos (m).

Latitud: latitud del lugar donde se diseñará la instalación fotovoltaica (°).

$$d = 0,59 \text{ m}$$

El ángulo óptimo determinado es de 18,96 °

$$x = \text{longitud del módulo} * \cos \beta = 1,560 \text{ m}$$

Donde:

x: proyección del módulo fotovoltaico sobre el suelo (m)

β : ángulo de inclinación respecto al suelo del arreglo fotovoltaico (m)

$$Y = x + d$$

$$Y = 1,560 + 0,59 = 2,15 \text{ m}$$

Cálculo de los acumuladores.

Determinación de la energía de la instalación para el cálculo del acumulador, recordando que durante el periodo de duración de la radiación solar las cargas serán alimentadas directamente por los módulos. Se considera una reducción de 2 horas diarias.

Tabla 15. Energía de los equipos para el cálculo de acumulador asociados a sala del quirófano.

Equipo	Cantidad	Potencia Total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Refrigeradores	2	400	22	17,6
Esterilizador	1	700	2	1,4

Tabla 16. Energía de los equipos para el cálculo de acumulador asociados a las aulas de la condición 2.

Sistema	Cantidad	Potencia Total (W)	Horas de uso (h)	Energía (kWh)
Iluminación	27	40	10	10,80
Ordenadores	43	70	7	21,07

Energía total diaria teniendo en cuenta las dos horas de reducción: 50,87 kWh

Para la selección del acumulador o del grupo del banco de batería se tomará el consumo diario E_D , que se debe pasar a Ah/día. Se denominará L_D

$$L_D = \frac{E_D}{V_{nom}}$$

$$L_D = \frac{50.870}{48} = 1.059,79 \text{ Ah}$$

Donde:

V_{nom} : Tensión de la batería que coincide con la instalación.

La capacidad de las baterías se calcula

$$C_{100} = \frac{L_D * A}{P_{Dmax} \eta_{Regulador} \eta_{Acumulador} \eta_{Inversor}}$$

$$C_{100} = \frac{1.059,79 * 3}{0,6 * 0,98 * 0,85 * 0,9} = 7.068,11 \text{ Ah}$$

Donde:

C_{100} : Capacidad del acumulador en Ah.

A : Autonomía del sistema en días.

L_D : Consumo diario medio de la carga en Ah.

P_{Dmax} : Profundidad de descarga máxima.

$\eta_{Regulador}$: Rendimiento en tanto por uno del regulador

$\eta_{Acumulador}$: Rendimiento en tanto por uno del acumulador

$\eta_{Inversor}$: Rendimiento en tanto por uno del inversor

La selección del grupo de acumuladores representará la decisión más complicada y de más coste de sistema fotovoltaico, para el análisis se presentan varias marcas y tecnologías.

Marca ENERSOL.

Las características de carga C_{100} del modelo **EnerSol 376Ah** es de 369 Ah cada elemento presenta una tensión nominal 2V, lo que implica que para un valor de tensión de 48 V se requieren 24 unidades el total del conjunto es de 2.943,24 €.

Cada elemento tiene un peso de 17,3 kg. Para cumplir con las características del sistema fotovoltaico se requieren de 20 conjuntos en paralelo

Marca TAB.

Opción 1.

Las características de carga C_{100} del modelo 4 TOPzS353 es de 458 Ah cada elemento presenta una tensión nominal 2V, lo que implica que para un valor de tensión de 48 V se requieren 24 unidades el total del conjunto es de 3.314,43 €.

Cada elemento tiene un peso de 23,3 kg. Para cumplir con las características del sistema fotovoltaico se requieren de 20 conjuntos en paralelo

Opción 2.

Las características de carga C_{100} del modelo 5 TOPzS625 es de 812 Ah cada elemento presenta una tensión nominal 2V, lo que implica que para un valor de tensión de 48 V se requieren 24 unidades el total del conjunto es de 5.215,58 €.

Cada elemento tiene un peso de 43,0 kg. Para cumplir con las características del sistema fotovoltaico se requieren de 10 conjuntos en paralelo

Marca Buer.

Esta marca ofrece acumuladores de Litio con su modelo **Litio Bauer Box 8.8kWh** donde la característica de carga será de 183 Ah. Estos equipos presentan un valor de tensión de 48 V en sus terminales, y el total del equipo es de 5.116,57€, con un peso 105 kg.

Se requieren de 39 equipos en paralelo

Marca LG.

Esta marca ofrece acumuladores de Litio con su modelo **Resu 10** donde la característica de carga será de 189 Ah. Estos equipos presentan un valor de tensión de 48 V en sus terminales, y el total del equipo es de 6.216,50 €, con un peso 75 kg.

Se requieren de 38 equipos en paralelo

Marca BAE.

La tecnología para considerar es de gel. Las características de carga C_{100} del modelo PVV 1800 es de 1900 Ah cada elemento presenta una tensión nominal 12V, lo que implica que para un valor de tensión de 48 V se requieren 4 unidades el total del conjunto es de 15.686,38 €. Cada elemento tiene un peso de 99,2 kg.

Para cumplir con las características del sistema fotovoltaico se requieren de 4 conjuntos en paralelo.

Tabla 17. Comparación de los acumuladores requeridos en la instalación.

Marca	Modelo	Carga total (Ah)	Peso total (kg)	Precio total de los acumuladores (€)
ENERSOL	EnerSol 376Ah	7.380	8.304	58.864,8
TAB	4 TOPzS353	9.160	11.184	66.288,6
TAB	5 TOPzS625	8.120	10.320	52.155,8
BAUER	Litio Bauer Box 8.8kWh	7.137	4.095	199.546,23
LG	Resu 10	7.182	2.850	236.075,00
BAE	PVV 1800	7.600	1.587,2	62.745,52

Se descarta del análisis los acumuladores de Litio por su alto coste.

El grupo de acumuladores más económico la representa utilizar productos TAB modelo 5 TOPzS625, pero presentan un peso por encima de los 10.000 kg por otro lado se requieren dispositivos para la conexión de 20 grupos en paralelo.

Teniendo en cuenta que la cantidad de conexiones en paralelo prácticamente no se requieren ya que se se requieren tres equipos inversores y el peso se reduce significativamente si se selecciona los acumuladores BAE modelo PVV 1800 para la instalación en el Centro de Formación.

Selección de la puesta a tierra.

En la instalación se colocará una pica de cobre (250 μ) de 3 m de longitud con un diámetro mínimo de 14,0 mm, para cada estructura de soporte.

Las picas se interconectarán por medio de un conductor de 70 mm² sin recubrimiento hasta llegar a los inversores. La unión entre conductor y barra se realizará por medio de soldadura autofundente o conectores permitidos para tal fin.

Los conductores de puesta a tierra para la unión de las estructuras metálicas y los módulos serán de cobre y con sección de 4 mm², estarán recubiertos de aislante color amarillo-verde.

Cada inversor debe conectarse directamente a la puesta a tierra, por medio de un cable

Dispositivos de protección contra sobretensiones.

Según el ITC-BT-23, el dispositivo de protección debe reducir las sobretensiones transitorias limitándolas a un valor admisible por los dispositivos que protege. Para la protección del campo fotovoltaico se seleccionará un dispositivo Tipo 2 debiendo cumplir con las siguientes condiciones:

- Nivel de protección (U_p) <2,5 kV pues se considera que los equipos que se protegen se corresponden con la Categoría II (equipos destinados a conectarse a una instalación eléctrica fija)
- Tensión aplicada al dispositivo de protección en servicio permanente debe ser menor que la máxima tensión soportada por este de manera continuada.
- Intensidad nominal de descarga deberá ser mayor de 5 kA, al ser de Tipo 2 la forma de onda de la corriente estará caracterizada por 8/20µs.
- La conexión entre dicho dispositivo y tierra deberá realizarse con un conductor de cobre de sección no inferior a 4 mm².

Por consiguiente, se seleccionará un dispositivo de protección contra sobretensiones de Tipo 2, con $I_N=20$ kA a 8/20µs, $U \leq 2$ kV, tensión nominal 600 V y tensión de trabajo 700/1170 V. Estos dispositivos se encuentran dentro de la caja de unión, la cual debe ser conectada directamente a la puesta a tierra.

Presupuesto de la instalación.

A continuación, se cuantifica el coste de los elementos más importantes de la instalación fotovoltaica requerida para satisfacer el requerimiento de suministrar energía eléctrica al Centro de Formación en el distrito de Mount Darwin en Zimbabue.

En los totales reflejados no se consideran los siguientes elementos:

- Los ordenadores.
- El cableado o canalización interna del Centro de Formación.
- El cableado de los módulos.
- El cableado entre la caja de unión y los inversores.
- El cableado de los inversores y los acumuladores.
- Costes de traslado e instalación del sistema fotovoltaico.

Los precios de cada uno de los elementos son referenciales, teniendo en cuenta que fueron consultados en páginas WEB vinculadas a sistemas fotovoltaicos. Las consultas fueron realizadas en Julio 2019.

Los costes de algunos elementos pueden reducirse en función de los avances tecnológicos del día a día.

Tabla 18. Costes de los elementos importantes de sistema fotovoltaico.

Elementos	Marca	Coste total (€)
Luminarias	Phillips	1.897,56
Módulos	JA	9.824,04
Inversores	Must	5.357,01
Cajas de unión	ABMGreenPower	1.694,00
Estructuras de Soportes	Sunfer Energy Structures	2.838,10
Acumuladores	BAE	62.745,52
	Total	84.356,23

Se observa que los acumuladores representan el 74,38 % de la inversión total del sistema, representando una gran limitación a la hora de implementar este tipo de sistema.

Capítulo 5.

Introducción a los microprocesadores

Adicionalmente, la autora ha encontrado de gran valor añadido la automatización de una de las estancias de la escuela. Dado que la condición 2 se trata de acondicionar una de las estancias a modo de dispensario, se supone necesario habilitarlo para poder pernoctar en dicha habitación por lo tanto será acondicionada con persianas para evitar la entrada de luz.

Debido al gran coste que supone la inversión inicial, en un primer momento no se implementará ya que los recursos con los que se cuentan son limitados, sin embargo, podría tratarse de una mejora a realizar en un futuro.

Para la automatización de la estancia se utilizará un microprocesador dsPIC33FJ32MC202 y consistirá en instalar un sensor de luz el cual dará la orden al microprocesador de bajar las persianas cuando anochezca y a su vez encender las luminarias de la habitación para poder seguir contando con luz. Contará con dos modos de funcionamiento activados por un interruptor. Un primer modo manual, en el cual la persona que resida en el dispensario podrá bajar las persianas de manera manual y encender o apagar las luces cuando se requiera, o el modo automático que lo realizará en función de la luz exterior.

El microprocesador utilizado puede ser programado en lenguaje C o en ensamblador. Para el presente PFG se ha utilizado el lenguaje C.

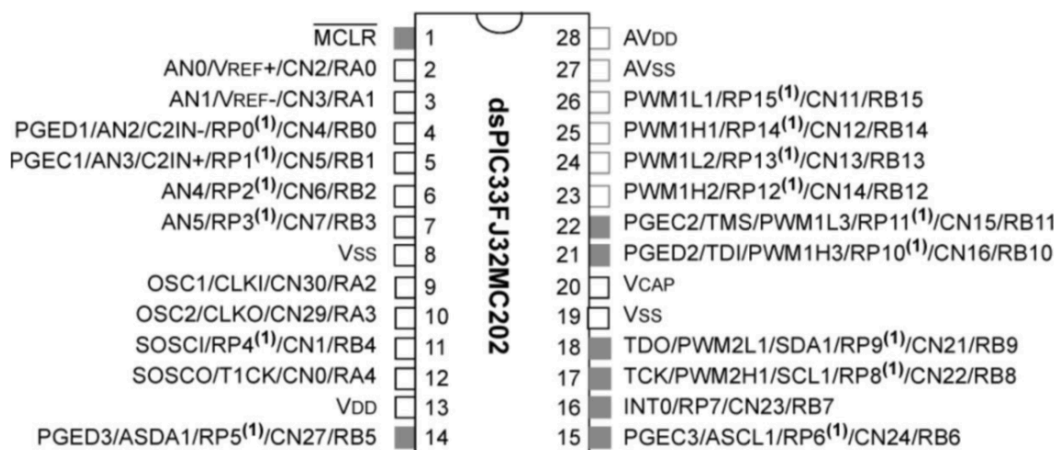


Figura 20. Microprocesador dsPIC33FJ32MC202.

Como se puede ver en la imagen, el microprocesador cuenta con distintos puertos A/B los cuales pueden ser utilizados de entradas o de salidas. Estos puertos pueden ser utilizados como entradas y salidas analógicas o como salidas digitales.

El pin 1 (MCLR) es utilizado para resetear el microprocesador en el caso que sea necesario.

A su vez el microprocesador cuenta con un pin de tierra y uno que será necesario conectarlo a una alimentación de 3.3V.

Código

El código ha sido dividido en diferentes funciones para poder reutilizar dichas funciones en el caso que sea necesario y por sencillez a la hora de organizar el programa completo. A su vez, permite una depuración más ágil y encontrar los fallos que puedan surgir de una manera más rápida.

MAIN

Se trata del código principal en el cual se inicializan y se llaman las distintas funciones. El objetivo principal a la hora de crearlo es el de conseguir un programa sencillo, comprensible y que simplemente se limite a la transferencia de información entre una función y otra.

Código

```
int error=0;
int luz;
int est, est_ant;
void InicializarTimer2(void);

int main(void) {
    InicializarReloj();
    RemapeaPerifericos();

    //inicializaciones
    inicializaMaquina();
    InicializarTimer2();
    init_ad(0x20); //si pongo esto no hace falta ad1pcfgl

    while (1) {
        MaquinaEstados(luz, error);
        est_ant=est;
        est=getEstado();
    }
    return 0;
}

void InicializarTimer2(void){
    TMR2=0;
    PR2=40000;
    T2CON=0x8000;
    IFS0&=~(0x0080);
    IEC0I=0x0080;
}

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T2Interrupt(void) {
    static int ticks = 0;
    static int contmed=0;
    IFS0 &= ~(0x0080);
```

```

    contmed++;

    if(getEstado()==2){
        ticks++;
        if (ticks >= 20000){
            ticks = 0;
            error=1;
        }
    }
    if(contmed>=1000){
        contmed=0;
        luz=SensorLuz();
    }
}

```

Como se puede observar en el código, en primer lugar, se crean las variables principales y se inicializan las distintas funciones (Máquina de estados, timers, etc). Una vez realizado esto, se manda la información a las funciones.

MÁQUINA DE ESTADOS

La función máquina de estados es la que realiza todos los cambios. En primer lugar, se inicializan y se definen variables dentro de la propia función.

A continuación, se definen, a partir del comando TRIS qué pines actuarán como entradas (por lo tanto, únicamente serán pines de lectura) y qué pines actuarán como salidas.

Una vez realizadas las iniciaciones de los pines a partir del comando PORT se procede a leer en qué estado se encuentra el conjunto. Contamos con cinco estados distintos:

- **Abriendo:** el motor se encuentra encendido y los LEDs apagados.
- **Abierto:** el motor y los LEDs se encuentran apagados.
- **Cerrando:** el motor se encuentra encendido y los LEDs apagados.
- **Cerrado:** el motor se encuentra apagado y los LEDs encendidos ya que se considera un estado en el cual será de noche por lo tanto será necesaria la iluminación.
- **Parado:** el motor y los LEDs se encuentran apagados.

En cada cambio de estado se varía las variables abrir y cerrar para dar la orden al motor. Por último, se realiza el cambio de la variable estado y dicha información se transmite a la función getEstado. La función getEstado se ejecuta en el Main y sirve para mandar una alerta de error en el caso que la persiana se encuentre subiendo o bajando más tiempo del habitual, ya que significaría que ha ocurrido algo con el motor que está ralentizando la subida o bajada.

Código

```

#include "config.h"
#include "MaquinaEstados.h"

#define abierto 0
#define cerrado 1

```

```

#define abriendo 2
#define cerrando 3
#define parado 4

#define ABRIR 5
#define CERRAR 25
#define PARAR 15

int estado = parado;
int AnchoPulso;
//Modo==1 significa modo manual, si por lo contrario modo==0 estará en modo automático.

int abrir = 0;
int cerrar = 0;
int modo = 0;
int act1;
int act2;
int act3;
int ant1;
int ant2;
int ant3;
int FCARRIBA;
int FCABAJO;
void InicializarTimer(void);

void inicializaMaquina(void) {
    TRISB = 0x0BFF; //Define cual es entrada y cual es salida
    TRISA = 0xFFFF; // Define cual es entrada y cual es salida
    PORTB = 0xFFFF;
    act1 = (PORTB & 0x4); //lee interruptor abrir
    act2 = (PORTB & 0x0040); //lee interruptor manual/automático
    act3 = (PORTB & 0x0080); //lee interruptor cerrar
    InicializarTimer();
}

void MaquinaEstados(int luz, int error) {

    ant1 = act1;
    ant2 = act2;
    ant3 = act3;
    act1 = (PORTB & 0x4);
    act2 = (PORTB & 0x0040);
    act3 = (PORTB & 0x0080);
    //Al haberles dado anteriormente el valor de actual, lo que hace es comparar si se ha pulsado el
    interruptor.
    if ((ant1 != act1) && (act1 == 0)) {
        abrir = 1;
        cerrar = 0;
    }
    //En el caso de que el interruptor abrir haya cambiado de estado, se acciona la variable abrir=1
    if ((ant2 != act2) && (act2 == 0)) {
        cerrar = 1;
        abrir = 0;
    }
    //En el caso de que el interruptor abrir haya cambiado de estado, se acciona la variable
    cerrar=1
    if ((ant3 != act3) && (act3 == 0)) {

```

```

    modo = 0;
}else {
    modo = 1;
}
if ((abrir == 1) && (cerrar == 1))
    error = 1;
//En el caso en el que ambos interruptores estén pulsados se envia un error para parar el
motor.
// modo=(PORTB & 0x0080)>>7; //1 pulsadores 0 automatico hacerlo en funcion de pulsador

if((PORTA&(0x0003)) == 1){
    FCARRIBA=1;
    FCABAJO=0;
}else if((PORTA&(0x0003)) == 2){
    FCARRIBA=0;
    FCABAJO=1;
}else{
    FCARRIBA=0;
    FCABAJO=0;
}
//Actualiza los finales de carrera de modo que cuando el final de carrera se active la variable
cambie su valor a 1 para avisar
//de que ya está arriba

if (estado == abierto) {
    // PORTB &= 0x7FFF;(led que indica que está abierto, no necesario en este caso)
    AnchoPulso = PARAR;

    if (cerrar == 1){
        if (modo==1){
            estado = cerrando;
        }
        cerrar = 0;
    } else if (luz == 0 && modo==0){
        estado = cerrando;
    }
    else if (abrir == 1) {
        abrir = 0;
    }
}

} else if (estado == cerrado) {
    PORTB &= 0xBFFF;
    //Con la acción anterior conseguimos encender los LEDs del aula cuando se detecta
que fuera no hay luz, por lo tanto se //cierran las ventanas y se encienden las luces
    AnchoPulso = PARAR;

    if (abrir == 1){
        if (modo==1){
            estado = abriendo;
        }
        abrir = 0;
    } else if (luz == 1 && modo==0){
        estado = abriendo;
    } else if (cerrar == 1) {
        cerrar = 0;
    }
}

} else if (estado == abriendo) {

```

```

    PORTB |= 0xF000;;
    AnchoPulso = ABRIR;
    if(abrir==1){
        abrir=0;
    }else if(cerrar==1){
        cerrar=0;
        estado=parado;
    } else if(FCARRIBA==1){
        estado=abierto;
        FCARRIBA=0;
    }

} else if (estado == cerrando) {
    PORTB |= 0xF000;
    AnchoPulso = CERRAR;
    if(abrir==1){
        abrir=0;
        estado=parado;
    }else if(cerrar==1){
        cerrar=0;
    } else if(FCABAJO==1){
        estado=cerrado;
        FCABAJO=0;
    }

}

} else if (estado == parado) {
    // PORTB&= 0xDFFF; (Se encendería un LED para avisar que el motor de las persianas
    // está parado)
    AnchoPulso = PARAR;

    if (abrir == 1) {
        estado = abriendo;
        abrir = 0;
    } else if (cerrar == 1) {
        estado = cerrando;
        cerrar = 0;
    } else if ((PORTA & (0x0003)) == 1) { //Final carrera abierto
        estado = abierto;
    } else if ((PORTA & (0x0003)) == 2) { //Final carrera cerrado
        estado = cerrado;
    }

}

}
return;

}

int getEstado(void) {
    return estado;
}

void InicializarTimer(void) {
    TMR1 = 0;
    PR1 = 4000; //queremos una frecuencia de 0.01ms
    T1CON = 0x8000;
    IFS0 &= ~(0x8);
    IEC0 |= 0x8;

```



```

    IPC0bits.T1IP=7;
}

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T1Interrupt(void) {
    static int ticks = 0;
    IFS0 &= ~0x8;
    ticks++;

    if (ticks >= 200)
        ticks = 0;

    if (ticks < AnchoPulso) {
        PORTB |= 0x0400;
    } else {
        PORTB &= ~0x0400;
    }
}
}

```

ESTADO PERSIANA

La función estado persiana informa sobre la posición de los finales de carrera colocados en la posición inicial y final del recorrido de la persiana. En el caso de detectar que se encuentra arriba, la función nos devuelve a partir de la variable estado un 0. En el caso de encontrarse en un estado intermedio, la variable estado tomaría el valor de 2. Si la ventana se encontrase cerrada el final de carrera se activaría y la variable estado sería 1. Esta variable es devuelta para poder utilizarla en la máquina de estados.

Código

```

#include "config.h"
#include "EstadoPersiana.h"

int EstadoPersiana (void) {
    int estado;
    //abierto--estado=0
    //cerrado--estado=1
    //intermedio--estado=2
    //parado--estado=3

    //No pulsado, final de carrera= 0, si pulsamos final de carrera=1
    //Arriba
    if((PORTA&(0x0003)) == 1){ //Final carrera abierto
        estado=0;
        PORTB&=0x7FFF;

        //Abajo
    } else if((PORTA&(0x0003)) == 2){ //Final carrera cerrado
        estado=1;
        PORTB&=0xBFFF;

    } else if((PORTA&(0x0003)) == 0){ //Final carreras no pactivos
        estado=2;
        PORTB|=0xC000;
    } else{
        estado=3;
    }
}

```

```

        PORTB|=0xC000;
    }

```

```

return estado;

```

```

}

```

SENSOR LUZ

La función SensorLuz combina el mundo analógico y el digital. Gracias a sensores colocados en las placas solares se podrá controlar a partir de qué rango de luz se considera necesario encender las luces del aula de manera automática.

La función devuelve la variable luz con valor 0/1 para poder después ser utilizada en la función máquina de estados.

Código

```

#include "config.h"
#include "SensorLuz.h"

void init_ad(int pines) {
    TRISB |= pines & 0x3F >> 2;
    TRISA |= pines & 3;
    AD1PCFGL = ~pines;
    AD1CON3 = 0x105; // SAMC = 1, ADCS = 5 -> 1 ciclo de muestreo
    AD1CON2 = 0;
    AD1CON1 = 0x80E0; // ADON, SSRC = 111
}

int get_ad(int pin) {
    AD1CHS0 = pin; // selecciona pin de conversi?n
    IFS0bits.AD1IF = 0;
    AD1CON1bits.SAMP = 1; // comienza
    while (!IFS0bits.AD1IF); // conversi?n terminada?
    return ADC1BUF0;
}

int SensorLuz(void) {
    int medida = get_ad(5);
    int med;
    if ( medida > 500) //selecciona el canal
        med=1;
    else
        med=0;

    return med;
}

```

MOTOR

La función Motor se encarga de encender o apagar el motor y de hacerlo girar hacia una dirección u otra.

A partir de las variables ABRIR, CERRAR y PARAR se define el valor que se va a mandar al motor, ya que dicho valor variará la frecuencia de las señales y es proporcional al valor de tensión que recibirá el motor permitiéndole así girar hacia ambos sentidos, ya que al cambiar la polaridad se invierte también el sentido de giro de éste.

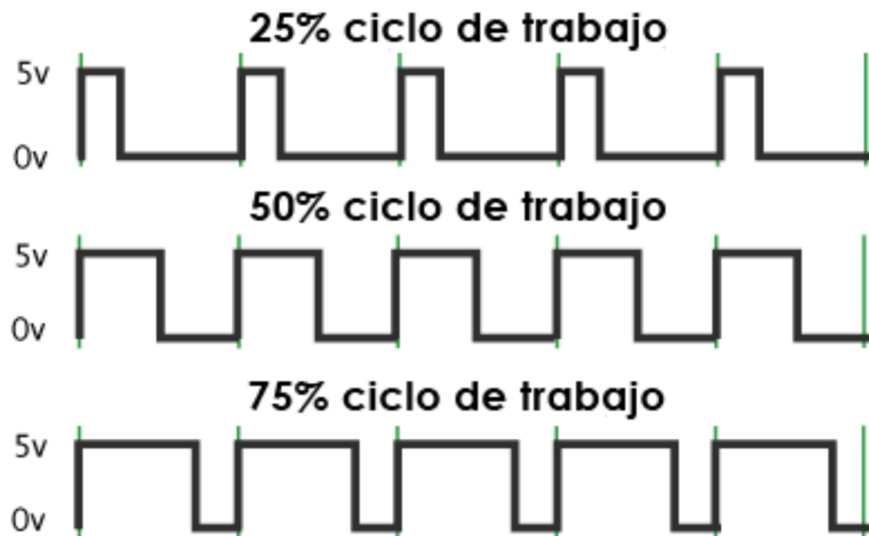


Figura 21. Modulación de ancho de pulso.

Los valores de las señales ABRIR, CERRAR y PARAR son utilizados para generar señales PWM, capaces de variar su ancho de pulso. De este modo, cuando la señal se encuentra con un valor medio inferior al 50% se encontrará girando en sentido negativo, si se encuentra por encima del 50% girará en sentido positivo y por último si se encuentra en su valor medio permanecerá parado.

Código

```
#include "config.h"
#include "Motor.h"
```

```
int AnchoPulso;
```

```
#define ABRIR 5
#define CERRAR 25
#define PARAR 15
```

```
void InicializarMotor(void){
    InicializarTimer();
    TRISB = 0x0BFF;
}
```

```
void InicializarTimer(void){
    TMR1=0;
```

```

PR1=4000;//queremos una frecuencia de 0.01ms
T1CON=0x8000;
IFS0&=~(0x8);
IEC0I=0x8;
}

void MovimientoMotor(int abrir,int cerrar,int est,int error,int luz) {

    //abierto--estado=0
    //cerrado--estado=1
    //intermedio--estado=2
    //parado--estado=3
    //RB2=Abrir(AP 5)va con fc RA0    RB3=Cerrar(AP 25) va con fc RA1

    if (abrir==1 && est!=0 && error!=1){
        AnchoPulso=ABRIR;
        abrir = 0;
    }
    else if (cerrar==1 && est!=1 && error!=1 ){
        AnchoPulso=CERRAR;
    } else if(error==1){
        AnchoPulso=PARAR;
    }

    if (luz==1 && est==1 && error!=1){
        AnchoPulso=ABRIR;
    } else if (luz==0 && est==0 && error!=1 ){
        AnchoPulso=CERRAR;
    } else if(error==1){
        AnchoPulso=PARAR;
    }
    return ;
}

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T1Interrupt(void) {
    static int ticks = 0;
    IFS0&= ~0x8;
    ticks ++;

    if (ticks >= 200)
        ticks = 0;

    if (ticks < AnchoPulso){
        PORTB I= 0x0400;
    }else{
        PORTB &= ~0x0400;
    }
}

```

Capítulo 6.

Financiación

El presente PFG, junto con siete proyectos de cooperación social realizados para mejorar la misma comunidad de Zimbabue se han implementado durante el verano de 2018-2019 gracias a la financiación recibida al realizar durante el curso escolar 2018-2019 diferentes eventos de cooperación.

El coste inicial se ha asumido gracias a varias actividades realizadas durante el curso 2018-2019, entre las cuales se encuentran varios mercadillos, torneos de futbol, fiestas, conciertos benéficos y venta de camisetas y accesorios.

A su vez se ha contado con la ayuda de varias empresas e individuales que han realizado donaciones a la cuenta de Child Future Africa.



Figura 22. Papeletas del sorteo solidario realizado para conseguir recaudación de fondos.



Figura 23. Cartel 1 de la fiesta benéfica realizada para la recaudación de fondos.



Figura 24. Cartel 2 de la fiesta benéfica realizada para la recaudación de fondos.



Figura 25. Camisetas, pulseras y papeletas realizadas para la recaudación de fondos.



Figura 26. Torneo de fútbol benéfico realizado para la recaudación de fondos.

Se ha querido dar a conocer este proyecto y la ONG con la cual se ha llevado a cabo (Child Future Africa) mediante las redes sociales, para ello se ha dado difusión creando un perfil de Instagram en el cual se informaba de las diferentes actividades en las que se podía participar para apoyar a la causa.

Durante los meses de julio y agosto de 2019 se ha contado el progreso de los proyectos por estos mismos perfiles para que la gente que había colaborado con el proyecto viese los resultados obtenidos e intentar fomentar las ayudas al orfanato para poder así continuar con el proyecto de mejorar la calidad y condiciones de vida de los niños que residen en él.

Conclusiones

Una vez finalizado el estudio se constata la importancia de la energía eléctrica en el desarrollo y formación de niños que no cuentan con sus padres y que habitan en una zona rural.

El garantizar la educación de esta población infantil repercutirá en el desarrollo futuro del cada uno de ellos, así como de la zona donde viven y finalmente del país. Teniendo en cuenta que, el servicio eléctrico no podrá garantizarse a corto y mediano plazo, se ha obtenido una solución que utilizará un recurso renovable como lo es la energía solar. No solamente garantizará el poder realizar el desarrollo de la comunidad, sino que estará alineada con las metas de desarrollo de minimizar las emisiones del CO₂.

Se considera un proyecto de gran impacto para la comunidad de Mount Darwin, ya que la respuesta que se espera recibir tras implantar y llevar a cabo el proyecto es de gran relevancia no únicamente para los huérfanos de Child Future Africa sino para toda la comunidad.

Gracias a la apertura de una escuela se garantiza unos conocimientos básicos en primera estancia de agricultura, lo cual permitirá a CFA comercializar con los productos que ellos mismos sean capaces de cultivar.

Gracias a la electrificación de esta escuela conseguimos un número más alto de horas útiles diarias en las cuales los alumnos contarán con los medios para poder dedicarse al estudio sin que la luz sea un impedimento para ello.

Con este proyecto también queremos aumentar la calidad de vida de los habitantes de Mount Darwin, ya que transformando estas aulas en un dispensario no será necesario desplazarse a tan largas distancias para conseguir medicina y la formación acerca de enfermedades de fácil transmisión en la comunidad será mucho mayor, evitando así grandes contagios.

Bibliografía

- [1] <https://www.get-invest.eu/market-information/zimbabwe/renewable-energy-potential/>
Último acceso: 27/05/2019.
- [2] www.childfutureafrica.org
Último acceso: 21/01/2019.
- [3] <http://zesa.co.zw/>
Último acceso: 21/06/2019.
- [4] *Elaborado por la Oficina Económica y Comercial de España en Johannesburgo. "INFORME ECONÓMICO Y COMERCIAL, Zimbabwe." Actualizado a agosto 2018*
Último acceso: 21/07/2019.
- [5] *Autor: Sánchez Miralles A. Título:[Libro de texto de Sistemas Electrónicos Digitales.] Año: 2013. Recurso únicamente disponible para usuarios de la Universidad Pontificia Comillas, ICAI. https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2260472/mod_resource/content/8/Libro%20SED%20v4.pdf*
Último acceso: 29/08/2019.
- [6] *IEEE std 1562-2007, "IEEE Guide for Array and Batteries Sizing in Stand- Alone Photovoltaic (PV) Systems", New York, USA, 2007*
<https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=4518935>
Último acceso: 29/05/2019.
- [7] *IEEE std 1013-2000, "IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Photovoltaic (PV) Systems", New York, USA, 2000*
Último acceso: 28/07/2019.
- [8] *Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-EN 12464-1: 2012. "Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores". Editada e impresa por AENOR Depósito legal: M43648:2003*
Último acceso: 12/07/2019.
- [9] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=africa>
Último acceso: 17/07/2019.
- [10] <https://www.rhinoafrica.com/es/destinos/zimbabue/datos-e-informacion/>
Último acceso: 19/05/2019.
- [11] <https://www.iea.org/energyaccess/database/>
Último acceso: 08/04/2019.
- [12] *Hebe Vessuri, "La ciencia para el desarrollo sostenible"(Agenda 2030). Publicado en 2016 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia y la Oficina Regional de Ciencias de la UNESCO para América Latina y el Caribe, UNESCO Montevideo, Luis Piera 1992, piso 2, 11200 Montevideo, Uruguay.*
Último acceso: 12/07/2019.
- [13] <https://datosmacro.expansion.com/paises/zimbabue>
Último acceso: 18/07/2019.

- [14] <https://power.larc.nasa.gov/>
Último acceso: 21/07/2019.
- [15] <https://www.equaltimes.org/zimbabue-en-2019-la-situacion?lang=es#.XSMHYi0ryqA>
Último acceso: 30/05/ 2019.
- [16] <http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/dossiers/zimbabwe/zimbabue.htm>
Último acceso: 10/06/2019.
- [17] <https://store.hp.com/us/en/vwa/laptops/form=Standard-laptop>
Último acceso: 21/07/2019.
- [18] <https://www.microsiervos.com/archivo/ecologia/bombillas-de-bajo-consumo.html>
Último acceso: 15/07/2019.