



**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE**



**“DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EXTERIOR  
FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL TALLER MECÁNICO EDIFICIO H”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE INGENIERO  
EN MECATRÓNICA**

**POR**

**Karen Stephanie Melara Alas**

**Erick Xavier Rivas García**

**Fredy Alessandro Ortiz Rivas**

**Josué Andrés Gómez flores**

**Diego José Henríquez torres**

**JULIO 2023**

**SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, C.A.**

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

RECTOR

**ING. CARLOS ALBERTO ARRIOLA MARTÍNEZ**

VICERREPTOR ACADÉMICO

**ING. CHRISTIAN ANTONIO GUEVARA**

COORDINADOR DE ESCUELA

**ING. BLADIMIR ARNOLDO ALVARENGA HENRÍQUEZ**

ASESOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**ING. EVER SIGFREDO ABREGO PREZA**

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE**  
**ESUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNIA**

**ACTA DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**POR EL JURADO No. \_\_\_\_\_**

**En la Escuela de Ingeniería Mecatrónica, de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, a las \_\_\_ horas con \_\_\_ minutos del día \_\_\_ de \_\_\_ de 2023.**

**Reunidos los suscritos miembros del Jurado Examinador del Trabajo de Investigación titulado:**

**“Diseño y ejecución de un sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado para el taller mecánico edificio H”**

**Presentada por el(los) la (a) Bachiller(es):**

1. Karen Stephanie Melara Alas
2. Erick Xavier Rivas García
3. Fredy Alessandro Ortiz Rivas
4. Josué Andrés Gómez Flores
5. Diego José Henríquez Torres

**Para optar al Grado de:**

**Ingeniero en Mecatrónica**

Respectivamente

HACE CONSTAR QUE: Habiendo revisado y evaluado en forma individual su contenido escrito, de conformidad con el Reglamento de Graduación.

ACORDARON DECLARARLA:

- APROBADO SIN OBSERVACIONES  
 APROBADO CON OBSERVACIONES  
 REPROBADO

No habiendo más que hacer constar, damos por finalizada la presente acta que firmamos, entregando el original.

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
1er. Vocal

\_\_\_\_\_  
2° Vocal

**Carta de Autorización de Divulgación**

**Nosotros,**

Karen Stephanie Melara Alas, DUI 06002357-1.

Erick Xavier Rivas García, DUI 04799434-7.

Fredy Alessandro Ortiz Rivas, DUI 05770381-1.

Josué Andrés Gómez Flores, DUI 05610873-3.

Diego José Henríquez Torres, DUI 05175730-9.

Estudiantes de la carrera Ingeniería Mecatrónica de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

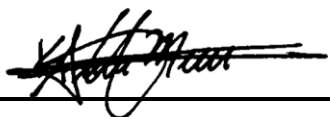
**Manifestamos:**

- 1) Que somos los autores del trabajo de graduación que lleva por título: **“Diseño y ejecución de un sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado para el taller mecánico edificio H”**, y que en adelante denominaremos la obra, presentado como requisito de graduación de la carrera, anteriormente mencionada, el cual fue dirigido y asesorado por el ingeniero Ever Sigfredo Abrego Preza, quien se desempeña como docente del departamento de Ingeniería Mecatrónica en la institución.
- 2) Que la obra es una creación original y que no infringe los derechos de propiedad intelectual, ni los derechos de publicidad, comerciales, de propiedad industrial u otros, y que no constituye una difamación, ni una invasión de la privacidad o de la intimidad, ni cualquier injuria hacia terceros.
- 3) Nos responsabilizamos ante cualquier reclamo que se le haga a la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, en este sentido.
- 4) Que estamos debidamente legitimados para autorizar la divulgación de la obra mediante las condiciones de la licencia de Creative Commons. (marcar solo una)
  - Reconocimiento (cc by)
  - Reconocimiento - Compartir (cc by -sa)
  - Reconocimiento - SinObraDerivada (cc by -nd)
  - Reconocimiento - NoComercial (cc by-nc)
  - Reconocimiento – NoComercial - Compartirlgual (cc by-nc-sa)
  - Reconocimiento –NoComercial-SinObraDerivada (cc by-nc-nd)

De acuerdo con la legalidad vigente.

5) Que conocemos y aceptamos las condiciones de preservación y difusión de la Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE **En atención a lo antes expuesto solicitamos:**

Que la obra quede depositada en las condiciones establecidas en la licencia de difusión anteriormente electa, y, en consecuencia, tomando como base al artículo 7 de la Ley de Propiedad Intelectual, cedemos los derechos económicos de explotación necesarios para tal efecto. San Salvador, 5 de septiembre de 2023.



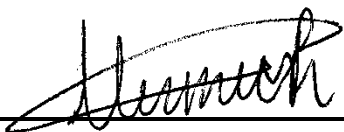
---

Karen S. Melara Alas



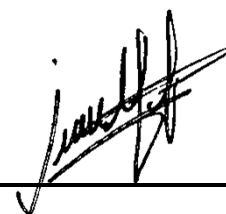
---

Erick X. Rivas García



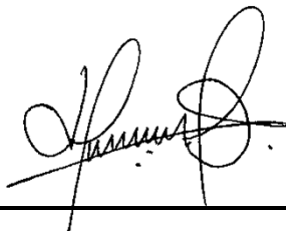
---

Fredy A. Ortiz Rivas



---

Josué A. Gómez Flores



---

Diego J. Henríquez Torres



## Reconocimiento-NoComercial- CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

### **Eres libre de:**

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material.

El licenciante no puede revocar estas libertades mientras siga los términos de la licencia.

### **Bajo los siguientes términos:**

Reconocimiento: debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso.

No comercial: no puede utilizar el material con fines comerciales.

ShareAlike: si remezcla, transforma o construye a partir del material, debe distribuir sus contribuciones bajo la misma licencia que el original.

Sin restricciones adicionales: no puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

### **Avisos:**

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material de dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se dan garantías. Es posible que la licencia no le otorgue todos los permisos necesarios para el uso previsto. Por ejemplo, otros derechos como la publicidad, la privacidad o los derechos morales pueden limitar la forma en que utiliza el material.

## Índice de contenido

Resumen.....	19
Planteamiento del problema.....	20
1.1. Definición del problema.....	21
1.2. Antecedentes .....	22
1.2.1. Históricos.....	22
1.2.2. En El Salvador.....	23
1.2.3. En ITCA.....	23
1.2.4. Intereses.....	24
1.3. Justificación.....	25
1.4. Objetivos.....	26
1.4.1. Objetivo General .....	26
1.4.2. Objetivos Específicos.....	26
1.5. Limitaciones .....	26
1.6. Alcances.....	27
Marco Teórico de la Investigación .....	28
2.1. Luminarias.....	29
2.2. Sistemas de alumbrado .....	29
2.3. Conceptos y unidades básicas de iluminación.....	30
2.3.1. Flujo luminoso .....	30
2.3.2. Rendimiento luminoso.....	31
2.3.3. Cantidad de luz.....	31
2.3.4. Intensidad luminosa .....	31
2.3.5. Iluminancia .....	32
2.3.6. Luminancia .....	32
2.4. Conceptos y unidades para iluminaciones exteriores.....	33
2.4.1. Deslumbramiento .....	33



2.4.2.	Eficacia luminosa de una lámpara y su rendimiento .....	34
2.4.3.	Flujo luminoso y flujo hemisférico superior.....	34
2.4.4.	Iluminación horizontal y vertical en un punto de una superficie.....	35
2.4.5.	Iluminancia media y mínima horizontal.....	35
2.4.6.	Intensidad luminosa .....	36
2.4.7.	Luminancia de velo y luminancia de velo equivalente producida por el entorno 36	
2.4.8.	Eficiencia de energía.....	37
2.5.	Iluminación con tecnología LED .....	37
2.5.1.	Características de las luminarias o focos LED .....	38
2.6.	Luminarias con panel solar .....	38
2.6.1.	Elementos de la luminaria con panel solar.....	39
2.6.2.	Requisitos para su correcta instalación .....	39
2.7.	Norma técnica y reglamento salvadoreño para iluminación exterior .....	39
2.7.1.	Reglamento COAMSS Y OPAMSS, Art. V.67 Alumbrado Público .....	39
2.7.2.	Norma técnica salvadoreña – RTS 29.02.01:21.....	39
2.8.	Elementos de una instalación eléctrica – circuito de iluminación .....	40
2.8.1.	Cuadro eléctrico .....	41
2.8.2.	Interruptores .....	42
2.8.3.	Conductores y clasificación de colores.....	43
2.8.4.	Protecciones.....	43
2.9.	Hora solar pico .....	44
2.10.	Radiación solar .....	44
2.10.1.	En El Salvador.....	44
2.11.	Energía solar fotovoltaica.....	46
2.12.	Sistemas fotovoltaicos.....	46
2.12.1.	Principio fotovoltaico .....	47

2.12.2.	Características y estructura .....	48
2.13.	Aplicaciones del sistema fotovoltaico .....	49
2.13.1.	Sistema aislado u autónomo.....	49
2.13.2.	Sistema conectado a la red.....	50
2.13.3.	Sistema híbrido.....	51
2.14.	Componentes del sistema fotovoltaico .....	51
2.14.1.	Paneles fotovoltaicos .....	51
2.14.2.	Parámetros de funcionamiento de un módulo fotovoltaico .....	52
2.14.3.	Orientación del módulo fotovoltaico.....	53
2.15.	Tipo de conexión de módulos fotovoltaicos .....	55
2.15.1.	Conexión en serie .....	55
2.15.2.	Conexión paralelo .....	55
2.16.	Batería .....	55
2.16.1.	Funcionamiento.....	55
2.17.	Tipos de batería.....	57
2.17.1.	Baterías de plomo .....	57
2.17.2.	Batería de litio.....	57
2.18.	Características.....	58
2.19.	Cálculo de batería .....	59
2.20.	Otras características.....	61
2.20.1.	Capacidad útil.....	61
2.20.2.	Estado de carga .....	61
2.20.3.	Auto descarga .....	62
2.20.4.	Tensión de batería .....	62
2.20.5.	Temperatura de batería .....	63
2.20.6.	La sobrecarga.....	63
2.21.	Regulador .....	64

2.21.1.	Características de un regulador.....	64
2.22.	Tipos de reguladores.....	65
2.22.1.	Modulación por ancho de pulsos .....	65
2.22.2.	Seguimiento de punto de máxima potencia .....	66
2.23.	Parámetros para considerar en la selección de un regulador.....	66
2.24.	Inversores .....	67
2.24.1.	Tipos de inversores.....	68
2.24.2.	Estabilizador .....	69
2.24.3.	Etapa de salida.....	71
2.24.4.	Convertidores para instalaciones aisladas .....	72
2.24.5.	Convertidores para conexión a red.....	72
2.24.6.	Convertidores duales .....	72
2.24.7.	Especificaciones técnicas .....	73
Metodología de la investigación.....		75
3.1.	¿Qué es la investigación?.....	76
3.1.1.	¿Qué es la investigación científica? .....	76
3.1.2.	¿Por qué es importante investigar? .....	76
3.2.	Metodología.....	77
3.2.1.	Tipo de investigación.....	78
3.2.2.	Metodología de la investigación escogida .....	78
3.3.	Fuentes de datos.....	78
Diseño.....		79
4.1.	Cálculo y dimensionamiento de las luminarias .....	80
4.1.1.	Área total, flujo y eficiencia luminosos .....	80
4.1.2.	Cantidad de luminarias .....	81
4.1.3.	Simulación con DIALux Evo.....	83
4.1.4.	Distancia estimada de instalación para cada reflector .....	85

4.1.5. Vistas del modelo 3D y simulación de iluminación.....	86
4.2. Diseño de la instalación fotovoltaica aislada .....	88
4.2.1. Consumo máximo total.....	88
4.2.2. Datos de la irradiación en el país.....	90
4.2.3. Potencia total del panel [ <b>P<sub>wp</sub></b> ] .....	91
4.2.4. Número de módulos solares .....	92
4.3. Cálculo del acumulador o batería .....	92
4.3.1. Vida útil de la batería.....	93
4.4. Cálculo de protecciones.....	95
4.4.1. Dimensionamiento de la sección de cable .....	95
4.5. Tabla resumen de componentes .....	98
4.6. Presupuesto .....	99
Análisis de resultados.....	104
5.1. Análisis de resultados .....	105
Conclusiones y recomendaciones .....	107
6.1. Conclusiones.....	108
6.2. Recomendaciones .....	109
6.2.1. Panel.....	109
6.2.2. Luces .....	110
6.2.3. Baterías .....	111
6.2.4. Inversor.....	112
6.2.5. Controlador de carga.....	113
Glosario.....	114
Referencias.....	117
Anexos .....	120
Anexo 1: Cronograma de actividades .....	121
Anexo 2: Ficha técnica módulo solar .....	122

Anexo 3: Ficha técnica regulador solar .....	123
Anexo 4: Ficha técnica batería .....	124
Anexo 5: Ficha técnica protecciones.....	126
Anexo 6: Ficha Técnica Inversor .....	127
Anexo 7: Ficha técnica Reflectores.....	128
Anexo 8: Tabla de medidas de calibres de conductores .....	130

## Índice de figuras

Fig. 1. Representación de los distintos flujos de luz.....	30
Fig. 2. Representación del estereorradián y el ángulo solido que corresponde a un casquete esférico con superficie igual al cuadrado del radio de la esfera .....	31
Fig. 3. Luminancia de una superficie .....	33
Fig. 4. Iluminación horizontal y vertical .....	35
Fig. 5. Bloques representativos sobre los elementos o partes de una instalación eléctrica [10] .....	40
Fig. 6. Ilustración de tablero bifásico, 8 espacios .....	41
Fig. 7. Esquema de función de una celda fotovoltaica .....	47
Fig. 8. Aplicaciones de un sistema aislado .....	50
Fig. 9. Aplicaciones de sistemas conectados a la red.....	51
Fig. 10. Curva característica I-V de un módulo o panel solar .....	52
Fig. 11. Esquema representativo de los ángulos azimut y de inclinación.....	54
Fig. 12. Proceso de descarga y carga de la batería .....	56
Fig. 13. Ejemplo de descarga de una batería de 55 Ah C20 a diferentes regímenes ....	58
Fig. 14. Ciclos según descarga (DOD: profundidad de descarga).....	59
Fig. 15. Configuración común de los inversores.....	69
Fig. 16. Impulsos a la frecuencia de red empleados para la conmutación y generación de la corriente alterna .....	70
Fig. 17. Circuito de conmutación.....	70
Fig. 18. Respuesta de un inversor semi senoidal.....	71
Fig. 19. Respuesta de un inversor senoidal .....	71
Fig. 20. Configuración básica del convertidor dual.....	73
Fig. 21. Valor del área de estudio utilizando AutoCAD .....	80
Fig. 22. Der. punto de medida entre banquetas, izq. punto de medida entre banqueta y almacén general .....	82
Fig. 23. Asignación del área total en DIALux para el respectivo cálculo y simulación ...	84

Fig. 24. Levantamiento en 3D, área a calcular (amarillo) y simulación de iluminación en DIALux Evo .....	85
Fig. 25. Fijación de punto en mapa para obtener los valores de irradiación .....	90
Fig. 26. Diagrama de ciclos para baterías de tipo Plomo-Acido .....	94

## Índice de tablas

Tabla 1. Eficiencia lumínica mínima para luminarias en exterior. Datos seleccionados para el tipo de sistema de estudio .....	40
Tabla 2. Clasificación de tableros según aplicación de trabajo.....	42
Tabla 3. Código de colores para conductores .....	43
Tabla 4. Comparación entre las diferentes características y tecnología en celdas fotovoltaicas .....	48
Tabla 5. Descripción del proceso de carga y descarga de la batería .....	56
Tabla 6. Ejemplo de consumo total de una vivienda .....	59
Tabla 7. Tipos de inversores .....	69
Tabla 8. Especificaciones generales de los inversores .....	74
Tabla 9. Eficiencia lumínica mínima de lámparas .....	81
Tabla 10. Categorías de distribución de luz lateral .....	82
Tabla 11. Distribución de haz de luz. (a) Reflector LED, (b) Alumbrado público tipo Cobra LED .....	84
Tabla 12.....	85
Tabla 13. Distancia entre reflectores para su instalación, medida en metros .....	85
Tabla 14. Consumo total obtenido de las cargas del sistema.....	88
Tabla 15. Tensión a elección según la potencia .....	88
Tabla 16. Datos obtenidos de la base de datos de PVGIS.....	90
Tabla 17. Secciones de cable para tramos en VDC.....	96
Tabla 18. Secciones de cable para tramo en VAC.....	97



## Tabla de ecuaciones

Ec. 1.	Expresión para la cantidad de luz.....	31
Ec. 2.	Expresión para la intensidad luminosa respecto a una dirección por unidad de ángulo	32
Ec. 3.	Expresión para el ángulo sólido.....	32
Ec. 4.	Fórmula para expresar la iluminancia.....	32
Ec. 5.	Fórmula para expresar la Luminancia .....	33
Ec. 6.	Fórmula para el incremento de umbral de contrastes.....	34
Ec. 7.	Fórmula para la aplicación y cálculo de la luminancia de velo .....	37
Ec. 8.	Fórmula de la eficiencia energética .....	37
Ec. 9.	Fórmulas para el cálculo de la irradiación. [14] .....	45
Ec. 10.	Potencia nominal, potencia generada por el panel en condiciones estándar	53
Ec. 11.	Fórmula para encontrar la inclinación óptima.....	54
Ec. 12.	Fórmula para media anual de irradiación global diaria.....	55
Ec. 13.	Fórmula para encontrar el consumo diario .....	60
Ec. 14.	Incluyendo la profundidad de descargar en la fórmula para tiempo de descarga	60
Ec. 15.	Fórmula para encontrar el tiempo diario de consumo .....	60
Ec. 16.	Fórmula para determinar el tiempo de descarga.....	60
Ec. 17.	Fórmula de la energía necesaria .....	88
Ec. 18.	Fórmula del rendimiento global.....	89
Ec. 19.	Fórmula de la energía total necesaria .....	89
Ec. 20.	Fórmula para encontrar la potencia del módulo solar .....	91
Ec. 21.	Cociente para calcular el valor de la potencia del panel .....	91
Ec. 22.	Fórmula de la energía del módulo solar [29] .....	91
Ec. 23.	Fórmula para los Ah/día respecto a la corriente del módulo solar [30].....	91
Ec. 24.	Fórmula para encontrar la cantidad de módulos solares .....	92

Ec. 25.	Fórmula para la capacidad de la batería [C] [30].....	92
Ec. 26.	Fórmula de la capacidad útil de la batería [Cu] [30].....	92
Ec. 27.	Fórmula de la capacidad nominal de la batería [Cn] [30].....	92
Ec. 28.	Fórmula para encontrar la sección de cable (mm <sup>2</sup> ) en VDC.....	95
Ec. 29.	Fórmula para encontrar la sección de cable (mm <sup>2</sup> ) en VAC.....	96

## Resumen

El presente documento se refiere a un proyecto con el t3pico de Dise3o y Ejecuci3n de un Sistema de Iluminaci3n Exterior Fotovoltaico Aislado para el Taller Mec3nico, y se centra en la implementaci3n de un sistema de iluminaci3n alimentado por energ3a solar.

El documento parte con una peque3a introducci3n a la tem3tica en cuesti3n, contin3a con el planteamiento del problema donde se manifiesta la problem3tica con la que contamos para el desarrollo del proyecto y su definici3n. M3s adelante, se comparten antecedentes del t3pico; tanto hist3ricos, dentro del pa3s, dentro de la instituci3n y los intereses del grupo encargado de este proyecto.

En la justificaci3n del problema se comparte la necesidad del problema a ser resuelto, aclarando las diversas necesidades que surgieron para llevar a cabo el proyecto y se comparten los objetivos tanto general como espec3ficos. Hasta el momento, como 3ltima instancia, el marco te3rico es el encargado de documentar las diversas fuentes de informaci3n que son 3tiles y necesarias para el desarrollo del proyecto.

Como parte del sistema, en principio, consta de ciertos componentes, tales como: paneles solares fotovoltaicos, bater3as, controlador de carga y luces LED de bajo consumo energ3tico.

El estudio comienza con la evaluaci3n de los requisitos de iluminaci3n del taller y la determinaci3n del tama3o del sistema fotovoltaico necesario para satisfacer estas demandas. Luego se describe el dise3o y la instalaci3n del sistema fotovoltaico y se detalla la elecci3n de los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema, lo que incluye el tipo de paneles solares, la capacidad y cantidad de bater3as necesarias, y el controlador de carga adecuado para administrar la carga de las bater3as y la energ3a suministrada a las luces LED.

Se presta especial atenci3n a la ubicaci3n de los paneles solares, que debe garantizar una exposici3n adecuada al sol para maximizar la producci3n de energ3a. Tamb3n se considera la ubicaci3n de las bater3as y el controlador de carga para garantizar una operaci3n segura y eficiente del sistema.

Palabras clave: Sistema de iluminaci3n exterior fotovoltaico aislado, paneles solares fotovoltaicos, bater3as, controlador de carga, luces LED de bajo consumo energ3tico.

# Capítulo 1

## Planteamiento del problema

## **1.1. Definición del problema**

La tecnología se actualiza e innova constantemente, y el crecimiento cada día es más notorio, no siendo ajena la iluminación y el sector eléctrico; debido a las antiguas fuentes convencionales esto ha ocasionado un problema, llamado crisis energética, la cual está golpeando la economía y el medio ambiente, hoy en día, se hace necesario la actualización de estos por medio de equipos con tecnología LED que cuenta con nuevas prestaciones que dan la posibilidad de ser monitoreadas a distancia y contar con una mejor gestión de la energía.

El problema que se presenta en el exterior del taller mecánico (edificio H) de ITCA – FEPADE, se centra en la falta y control de la iluminación de las áreas externas y pasillos que están contiguo del mismo, que no solo afecta en la seguridad de la institución, sino que también puede causar un accidente grave al personal que labora y transita en horario nocturno y el alto consumo de energía al no contar con un sistema autónomo de iluminación.

En la lucha contra el cambio climático y consumo energético, la utilización de energías renovables y la innovación que estas tienen nos ha motivado a utilizar la energía solar, para contrarrestar el deterioro a nuestro sistema, gracias a la abundante recepción de rayos solares que nuestro país tiene nos permite obtener energía limpia, pura y eficiente.

Sin embargo, existen desafíos técnicos relacionados con el diseño e instalación de un sistema solar adecuado para satisfacer las necesidades energéticas que las luminarias LED requieran para su óptimo desempeño, como la selección de componentes, la ubicación del panel solar y la gestión de la energía almacenada. Por lo tanto, el problema a abordar en este trabajo es: ¿Cómo diseñar e instalar un sistema solar aislado adecuado para satisfacer las necesidades energéticas de las luminarias LED utilizadas en la parte exterior del taller mecánico, considerando la selección de componentes, la ubicación del panel solar y la gestión de la energía almacenada, en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y beneficios ahorrrativos?

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Históricos**

La energía, a lo largo de la historia, ha sido un fenómeno de estudio por diferentes personalidades del mundo científico, desde los padres de la ciencia, hasta los científicos actuales. [1]

Específicamente, el efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Edmund Beequerel en 1839, cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora, y apareció un aumento de la generación eléctrica con la luz. En 1973, Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio, y en 1877 W.G. Adams y R. E. Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio. [1]

En 1904, Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad. En 1921, Einstein gana el premio Nobel por sus teorías de 1904, explicando el efecto fotovoltaico. [1]

La tecnología fotovoltaica tuvo un importante desarrollo a finales de los años cincuenta como parte de los programas espaciales, con la finalidad de desarrollar una fuente de energía económica e inagotable. En 1954, los investigadores D. M. Chapin, C. S. Fuller y G. L. Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican el artículo «A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power». [1]

En 1955, se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa de Illinois (EE. UU), ofrece células del 3% de 14mW a 1,500 \$/Wp y en 1957 Hoffman Electronic alcanza el 8% de rendimiento en sus células, y el 10% en 1959. [1]

El 17 de marzo de 1985, se lanza el Vanguard I, el primer satélite alimentado con energía solar fotovoltaica. El satélite lleva 0.1 W, en una superficie aproximada de 100cm<sup>2</sup>, para alimentar un transmisor de respaldo de 5mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética muestra, en la Exposición Universal de Bruselas, sus células fotovoltaicas con tecnología de silicio. [1]

En 1962, se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14 W. En 1963, Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón se instala un sistema de 242 W en un faro, el más grande en aquellos tiempos. [1]

En 1964, el navío espacial de Nimbus se lanza con 470 W de paneles fotovoltaicos. En 1966, el observatorio astronómico espacial lleva ya 1 kW de paneles solares. En 1977, la producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 Kw. En 1980, ARCO Solar (después Siemens, después Shell Solar) es la primera empresa con una producción industrial de 1 MW de módulos al año. [1]

Gracias al descenso de los costes y a la mejora del rendimiento, los sistemas fotovoltaicos han extendido su utilización a numerosas aplicaciones, incrementándose sustancialmente la potencia instalada. [1]

### **1.2.2. En El Salvador**

En nuestro país se han realizado diversos en busca de conocer el potencial de la irradiación solar. Diferentes instituciones de educación superior u organizaciones públicas o privadas de manera aislada y algunos en común, han realizado esfuerzos en el área fotovoltaica. A pesar de los costos de alta inversión que requieren estos sistemas, muchas entidades realizan proyectos de mejora tanto a nivel empresarial como particulares. [2]

### **1.2.3. En ITCA**

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, es una institución que cuenta con un gran reconocimiento por su trayecto en educación superior, que a priori, su objetivo es formar profesionales integrales e impulsar la capacitación. La institución cuenta con distintas sedes a lo largo del territorio nacional, ubicadas en Santa Tecla, Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión, siendo la sede central (Santa Tecla), la indicada sobre la se realiza este estudio.

Se conoce que en la sede oriental (San Miguel) se realizaron estudios y aplicaciones de la tecnología fotovoltaica, siendo uno de ellos el documentado en «Diseño e implementación de un Laboratorio de Energía Fotovoltaica para ITCA-FEPADE Centro Regional San Miguel» a cargo del Técnico René Estanislao Fuentes Palacios como parte de un programa de investigación publicado en San Miguel, enero de 2015. Este documento proporciona información respecto al diseño e implementación en el área de los sistemas de energía fotovoltaicos. [3]

En la sede central, también se han realizado diversos estudios, como parte de los programas de investigación aplicada, con respecto a la tecnología fotovoltaica, de los cuales destacan:

«Desarrollo de un sistema autónomo innovador para la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica y fotovoltaica» a cargo del Ingeniero Rigoberto Alfonso Morales Hernández,

el Ingeniero Juan José Cáceres Chiquillo y el Ingeniero Rafael Ernesto Chillín Vásquez publicado en Santa Tecla, enero de 2013. [4]

«Estudio de eficiencia y calidad de la energía generada en sistema híbrido eólico-fotovoltaico» a cargo del Ingeniero Rigoberto Alfonso Morales Hernández y el Ingeniero Juan José Cáceres Chiquillo publicado en Santa Tecla, enero de 2014. [2]

Los dos anteriormente citados, son documentos que conciernen al desarrollo de un sistema autónomo mediante la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico y la eficiencia en conjunto a su calidad generada por el sistema, respectivamente.

En ITCA cede central, también se conoce que se ha realizado un proyecto de un sistema fotovoltaico aislado, del cual hasta el momento no hemos encontrado documentación referente.

#### **1.2.4. Intereses**

Los responsables de este proyecto, para optar al título de Ingeniero/a Mecatrónico/a, cuentan con experiencia en varias áreas tecnológicas, destacando para el proyecto la automatización y control, instrumentación industrial, electrónica, electricidad y energías renovables.

El interés principal, es la planificación para un sistema fotovoltaico aislado que sea capaz de funcionar de manera autónoma y manual, que sea de gran ayuda para el ahorro energético a largo plazo y proporcione energía para iluminación en exteriores.



### **1.3. Justificación**

Este proyecto busca implementar la innovación en el área de iluminación, es un aspecto importante en cualquier espacio, ya sea residencial, comercial o público. En nuestro caso un lugar donde transita personal estudiantil o laboral de la institución. En áreas de alta actividad, una iluminación adecuada puede ayudar a prevenir accidentes, ya que el área del taller mecánico es bastante concurrida y transitada ya sea por el personal de vigilancia, docentes o estudiantes de la institución, la falta de visualización puede llegar a ocasionar daños físicos, convirtiéndose en una zona insegura para transitar.

En general, los sistemas solares aislados tienen una vida útil prolongada, lo que significa que los costos de mantenimiento y reemplazo de componentes son mínimos. Además, una vez que se ha instalado el sistema, la energía solar es gratuita y renovable, lo que elimina la necesidad de pagar facturas de energía eléctrica.

En comparación con las luminarias convencionales, las luminarias LED tienen un consumo de energía significativamente menor y una vida útil más prolongada. Por lo tanto, el uso de luminarias LED en conjunto con un sistema solar aislado puede reducir significativamente el consumo de energía y disminuir la necesidad de mantenimiento y reemplazo de luminarias.

A largo plazo, la inversión inicial en un sistema solar aislado para la alimentación y uso de luminarias LED puede ser compensada por el ahorro en costos operativos, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la promoción de la sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, se puede concluir que la inversión inicial en un sistema solar aislado puede ser una inversión rentable a largo plazo.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar y ejecutar un sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado para el taller mecánico edificio H.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio de las necesidades de iluminación exterior del taller mecánico edificio H.
- Seleccionar y evaluar los componentes adecuados para el sistema de iluminación exterior.
- Diseñar y ejecutar un sistema fotovoltaico aislado, considerando la ubicación y disposición de los paneles solares, el almacenamiento de energía y la gestión eficiente de la misma.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado, considerando los requisitos de los componentes, la frecuencia de mantenimiento y las posibles fallas o problemas que puedan surgir.

## **1.5. Limitaciones**

Aunque el uso de energía solar es una alternativa prometedora para abordar el problema de la falta de iluminación y el alto consumo de energía en el taller mecánico, es importante tener en cuenta que esta solución también puede presentar algunas limitaciones. Algunas de ellas son:

**Costo:** la instalación de paneles solares y sistemas de iluminación solar puede ser costosa en comparación con las soluciones tradicionales. Es posible que se necesite una inversión significativa inicial para implementar esta solución.

**Depende del clima:** la cantidad de energía solar que se puede recolectar depende de la cantidad de luz solar que reciba el panel solar. En días nublados o lluviosos, la cantidad de energía recolectada puede ser menor, lo que podría afectar la eficiencia del sistema de iluminación.

**Almacenamiento de energía:** si bien la energía solar puede ser una fuente de energía renovable y limpia, es necesario contar con sistemas de almacenamiento para garantizar que la energía se pueda utilizar cuando sea necesario. Esto también puede ser costoso y requerir mantenimiento.

Mantenimiento: los paneles solares y los sistemas de iluminación solar requieren mantenimiento periódico para garantizar que funcionen correctamente. El mantenimiento puede ser costoso y requiere personal capacitado.

En resumen, el uso de energía solar para abordar el problema de iluminación en el taller mecánico es una solución interesante y sostenible. Sin embargo, es importante considerar estas limitaciones antes de tomar una decisión final.

## **1.6. Alcances**

Al solucionar el problema de la falta de iluminación y el alto consumo de energía en el taller mecánico mediante la implementación de un sistema de iluminación solar, se pueden lograr varios alcances importantes, entre ellos:

Mejora de la seguridad: la instalación de un sistema de iluminación adecuado mejorará significativamente la seguridad del personal que labora y transita en horario nocturno. Esto reducirá el riesgo de accidentes y aumentará la tranquilidad de los trabajadores.

Reducción de costos: la utilización de energía solar para la iluminación del taller mecánico puede ayudar a reducir significativamente los costos de energía eléctrica, lo que se traducirá en ahorros a largo plazo. Además, la inversión inicial para la instalación del sistema puede ser recuperada en un plazo razonable.

Contribución a la lucha contra el cambio climático: la utilización de energías renovables, como la energía solar, es una forma efectiva de reducir la huella de carbono y contribuir a la lucha contra el cambio climático. Al utilizar energía limpia y renovable para iluminar el taller mecánico, se estará reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero.

Innovación y vanguardia: la implementación de un sistema de iluminación solar en el taller mecánico puede representar una oportunidad para ITCA-FEPADE de demostrar su compromiso con la innovación, la tecnología y la sostenibilidad. Esto puede contribuir a mejorar la reputación de la institución y atraer la atención de otros actores interesados en la implementación de soluciones sostenibles.

En resumen, al solucionar el problema de la falta de iluminación y el alto consumo de energía en el taller mecánico mediante la implementación de un sistema de iluminación solar, se pueden lograr importantes alcances en términos de seguridad, ahorro de costos, sostenibilidad y reputación.

# Capítulo 2

## Marco Teórico de la Investigación

## 2.1. Luminarias

Una luminaria se define como aquel aparato que transforma o distribuye la luz emitida por una o varias lámparas y posee los elementos necesarios para la sujeción mecánica y conexión eléctrica de estas mismas. Una lámpara generalmente no se encuentra por sí sola cumpliendo la función de iluminar, necesita de un conjunto de elementos para su correcto funcionamiento. [5]

## 2.2. Sistemas de alumbrado

Al encender una lámpara, el flujo lumínico, puede llegar a los objetos de la sala directa o indirectamente por reflexión en las paredes y techo. La cantidad de luz que llega directa o indirectamente nos determina los diferentes sistemas de iluminación, entre los que podemos mencionar:

**Iluminación directa:** El flujo de las lámparas se dirige hacia el suelo. Su gran ventaja es que se trata de sistemas muy económicos y con alto rendimiento luminoso.

**Iluminación semidirecta:** En este sistema la mayoría del flujo luminoso se dirige hacia el suelo. Tan solo una pequeña parte es reflejada en el techo y en las paredes. Con esto se consigue disminuir el deslumbramiento y suavizar las sombras producidas.

**Iluminación difusa:** el flujo se reparte a partes iguales entre directo e indirecto. El riesgo de deslumbramiento es bajo y las sombras desaparecen. Los lugares iluminados con este sistema tienen aspecto monótono y no da relieve a los objetos iluminados.

**Iluminación semi indirecta:** se produce cuando la mayor parte del flujo procede del techo y las paredes. Por ende, se producen altas pérdidas por absorción y los consumos energéticos suben.

**Iluminación indirecta:** casi todo el flujo va dirigido hacia el techo. Es el sistema más parecido a la luz natural, pero resulta una solución cara debido a la búsqueda de colores ambiente con alta reflectancia. [6]

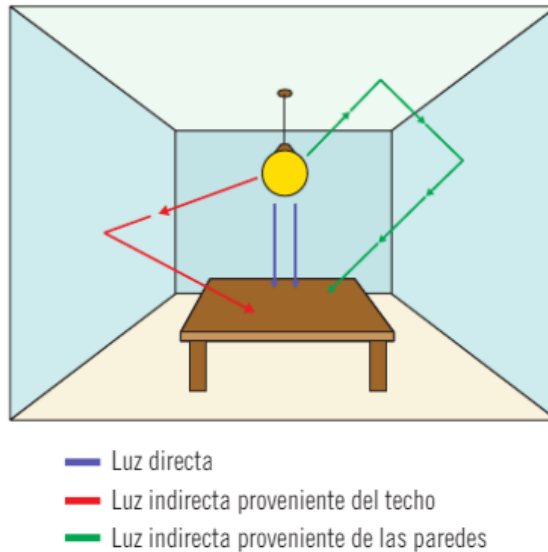


Fig. 1. Representación de los distintos flujos de luz [6]

### 2.3. Conceptos y unidades básicas de iluminación

Para el estudio de la iluminación básicamente intervienen dos elementos importantes:

- La fuente generadora de luz, como lo pueden ser todas las lámparas o bombillos.
- El área o superficie por iluminar, como una zona peatonal o una habitación.

Las características fotométricas no son más que las magnitudes y unidades fundamentales para una fuente de luz. Dichas características aportan en el valor a comparar con respecto a las cualidades y efectos en cada fuente de luz.

#### 2.3.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso de una fuente de luz se puede describir como la energía radiada que recibe el ojo humano según su curva de sensibilidad y que se transforma en luz durante un segundo. [6]

Este flujo nos indica la cantidad de luz que es emitida o radiada, en un segundo, en todas las direcciones. Este término también es denominado o llamado como potencia luminosa propia de lámparas o fuentes de luz.

El flujo luminoso se representa de manera matemática por la letra griega  $\Phi$ , siendo su unidad el Lumen (lm).

### 2.3.2. Rendimiento luminoso

El rendimiento luminoso de una fuente de luz se indica respecto al flujo que emite en relación con la potencia eléctrica consumida para su obtención.

Matemáticamente se representa por la letra griega épsilon  $\epsilon$ , siendo su unidad el lumen/watio (lm/w).

### 2.3.3. Cantidad de luz

De manera similar a como se obtiene la energía eléctrica, por medio de la potencia eléctrica en unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía luminosa se determina por medio de la potencia o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo.

Dicha energía se representa por la letra Q, siendo su unidad el lumen por hora (lm x h).

Expresada matemáticamente de la siguiente manera:

$$Q = \phi \times t; (\text{lm} \times \text{hora})$$

Ec. 1. Expresión para la cantidad de luz

### 2.3.4. Intensidad luminosa

Esta magnitud solo es determinada a cierta dirección y sujeto a un ángulo sólido  $\omega$ .

Similar a una magnitud de superficie le corresponde la medida de un ángulo plano ( $\alpha$ ) en radianes, a una magnitud de volumen le corresponderá un ángulo solido ( $\omega$ ) o estéreo cuya media se realiza en estereorradianes.

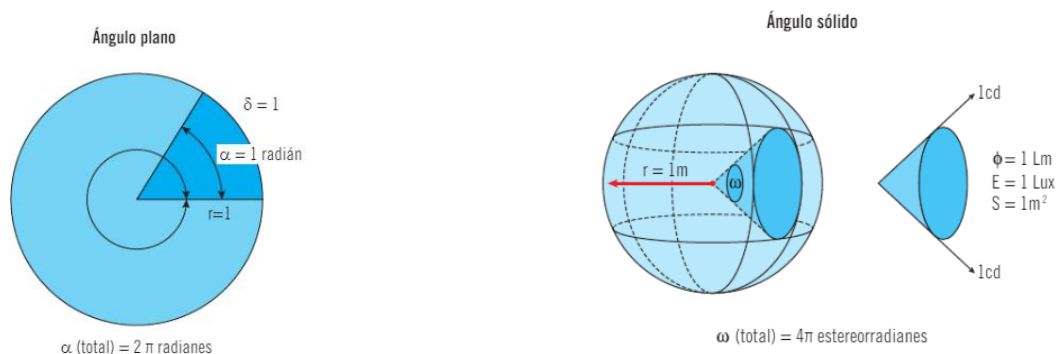


Fig. 2. Representación del estereorradián y el ángulo solido que corresponde a un casquete esférico con superficie igual al cuadrado del radio de la esfera [6]

De manera que la intensidad luminosa de una fuente se puede definir como el flujo emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección.

Se representa por la letra I, y su unidad es la candela (cd). matemáticamente expresada como:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \left( \frac{\text{lm}}{\text{sr}} \right) (\text{cd})$$

Ec. 2. Expresión para la intensidad luminosa respecto a una dirección por unidad de ángulo

El ángulo sólido se puede encontrar al dividir el área de la superficie de esfera que intercepta el cono entre el radio de la esfera al cuadrado.

$$\omega = S / r^2$$

Ec. 3. Expresión para el ángulo sólido

### **2.3.5. Iluminancia**

La iluminancia o nivel de iluminancia de una superficie, es la magnitud que relaciona el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. Simbolizado por la letra E y siendo su unidad el lux (lx).

$$E = \frac{\Phi}{S} (\text{lx} = \text{l m/m}^2)$$

Ec. 4. Fórmula para expresar la iluminancia

Deduciendo la fórmula, se puede decir que a medida que el flujo luminoso sobre una superficie sea mayor, también será la luminancia. También se considera que, para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será mayor a medida que se disminuya la superficie sobre la que el flujo incide.

### **2.3.6. Luminancia**

La luminancia de una superficie iluminada se expresa matemáticamente como el cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección y la superficie de la fuente proyectada según la dirección.

Para el cálculo es necesario multiplicar la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma la normal de la superficie con la dirección de la intensidad luminosa.



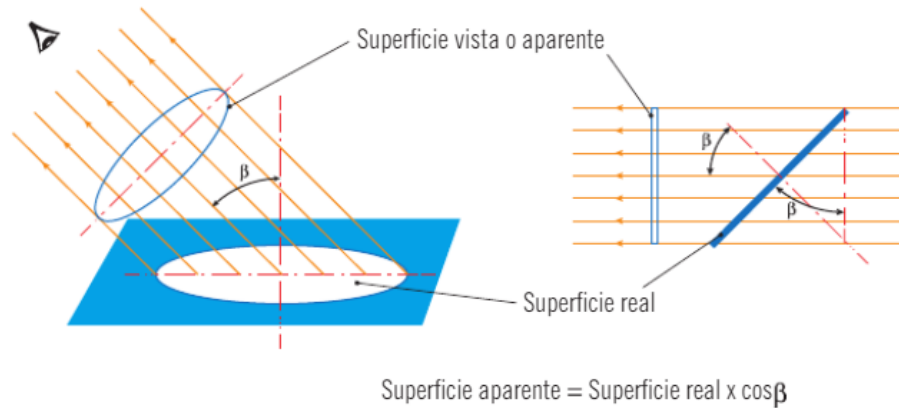


Fig. 3. Luminancia de una superficie [6]

Para representar la luminancia se emplea la letra L. Siendo su unidad la candela/metro cuadrado, también llamada “nit” (nt).

$$L = \frac{I}{s \cdot \cos\beta}$$

Ec. 5. Fórmula para expresar la Luminancia

## 2.4. Conceptos y unidades para iluminaciones exteriores

### 2.4.1. Deslumbramiento

El deslumbramiento puede ser de dos tipos diferentes:

**Deslumbramiento molesto:** es el tipo de deslumbramiento que causa incomodidad visual y puede provocar fatiga ocular, dolores de cabeza, irritación ocular y disminución de la capacidad para percibir los detalles visuales. Se produce cuando la fuente de luz directa o reflejada es muy brillante y entra en el campo de visión del observador, dificultando su capacidad para ver con claridad los objetos circundantes.

**Deslumbramiento perturbador:** es el tipo de deslumbramiento que afecta gravemente a la capacidad del observador para ver los objetos en su campo visual, pudiendo incluso impedir su capacidad para realizar una tarea visual crítica. Se produce cuando la fuente de luz es extremadamente brillante y entra directamente en el ojo del observador, produciendo una pérdida temporal de la visión y dificultando la realización de actividades como conducir un vehículo o manejar maquinaria peligrosa. [6]

$$TI = 65 \frac{Lv}{(Lm)^{0,8}} \text{ (en \%)}$$

Ec. 6. Fórmula para el incremento de umbral de contrastes

En donde:

- TI: incremento de umbral de contraste.
- Lv: luminancia de velo total (cd/m<sup>2</sup>).
- Lm: Luminancia media de la calzada (cd/m<sup>2</sup>).

#### **2.4.2. Eficacia luminosa de una lámpara y su rendimiento**

La eficacia luminosa y rendimiento de una lámpara se puede definir como el cociente entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia consumida por la misma. [6]

La unidad de medida es el lm/W o lumen/vatio.

#### **2.4.3. Flujo luminoso y flujo hemisférico superior**

El flujo luminoso se define como la potencia emitida en forma de radiación visible por una fuente luminosa o lámpara y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda.

Su unidad de medida es el lumen (lm) y su símbolo es el  $\phi$ .

En otras palabras, se refiere a la cantidad total de luz visible emitida por una fuente de luz en todas las direcciones. Se mide en lúmenes (lm) y es una medida de la cantidad total de luz visible que una fuente de luz emite.

El flujo hemisférico superior (FHS) es una medida de la cantidad de luz visible emitida por una fuente de luz en la dirección hacia arriba, es decir, hacia la mitad superior de una esfera imaginaria que rodea la fuente de luz. Se mide en lúmenes y se utiliza a menudo para evaluar la eficiencia luminosa de una luminaria en el diseño de iluminación.

El FHS se calcula midiendo el flujo luminoso total de la luminaria y luego midiendo la cantidad de luz visible emitida en la dirección hacia arriba. El FHS se expresa como un porcentaje del flujo luminoso total y puede ser utilizado para determinar si una luminaria es adecuada para iluminar una superficie específica, como un techo o una pared.

Es importante tener en cuenta que el FHS es sólo una medida parcial de la distribución de la luz emitida por una luminaria. Para una evaluación más completa de la eficiencia luminosa de una luminaria, es necesario considerar la distribución espacial completa de la luz emitida.

#### 2.4.4. Iluminación horizontal y vertical en un punto de una superficie

Para definir las tomamos como referencia “La iluminancia horizontal en un punto de la superficie depende del flujo luminoso que incide sobre la superficie que contiene el punto y la superficie del propio punto en sí.”

Pero también es importante tener en cuenta que la iluminancia horizontal depende tanto de la fuente de luz como de la altura de montaje de la luminaria, ya que esta última afecta al ángulo de incidencia de la luz sobre la superficie. Por lo tanto, es necesario considerar ambos factores al diseñar un sistema de iluminación adecuado para una determinada área.

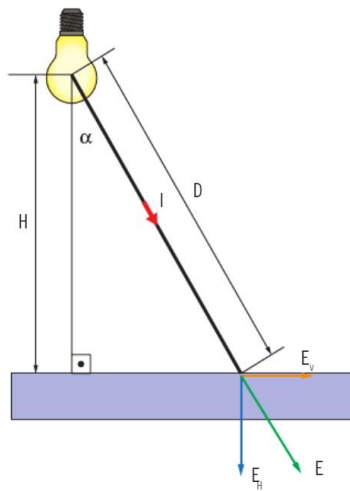


Fig. 4. Iluminación horizontal y vertical [6]

#### 2.4.5. Iluminancia media y mínima horizontal

La iluminación media se refiere al promedio de la iluminancia en una determinada área o superficie. La iluminancia se mide en lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) y representa la cantidad de luz que incide sobre una superficie. La iluminación media es un parámetro importante para considerar en el diseño de un sistema de iluminación, ya que afecta la percepción visual y la comodidad de las personas en un espacio.

La iluminancia mínima horizontal es el valor mínimo de la iluminancia horizontal de una superficie. Su símbolo es el  $E_{h\text{mín}}$  y se mide en  $\text{lm}/\text{m}^2$  o lux.

#### **2.4.6. Intensidad luminosa**

La intensidad luminosa se relaciona con la cantidad de energía que emite una fuente de luz en una dirección específica y es una medida importante a considerar en el diseño de sistemas de iluminación. Por ejemplo, una fuente de luz con una alta intensidad luminosa puede ser adecuada para iluminar un área pequeña o para crear un efecto de acento en un objeto, mientras que una fuente de luz con una intensidad luminosa más baja puede ser más adecuada para iluminar un área más grande de manera uniforme.

La intensidad luminosa se mide en candelas (cd), que es una unidad de medida que representa la cantidad de luz emitida por una fuente de luz en una dirección específica. Por ejemplo, una vela encendida emite aproximadamente una candela de intensidad luminosa, mientras que un foco de alta intensidad puede emitir miles o incluso millones de candelas.

Es importante tener en cuenta que la intensidad luminosa solo se refiere a la cantidad de luz emitida en una dirección específica y no tiene en cuenta la cantidad total de luz emitida por una fuente de luz. La cantidad total de luz emitida por una fuente de luz se mide en lúmenes (lm) y se relaciona con la cantidad total de energía emitida en todas las direcciones.

#### **2.4.7. Luminancia de velo y luminancia de velo equivalente producida por el entorno**

La "luminancia de velo equivalente producida por el entorno" se refiere a la cantidad de luz reflejada por el entorno en el que se encuentra un objeto o una escena. Esta luminancia puede afectar la calidad de la imagen final y es especialmente importante en situaciones de fotografía al aire libre, donde la luz ambiental puede ser compleja y variable.

En resumen, la "luminancia de velo" se refiere a la cantidad de luz reflejada en partículas suspendidas en el aire, mientras que la "luminancia de velo equivalente producida por el entorno" se refiere a la cantidad de luz reflejada en el entorno en el que se encuentra un objeto o una escena. Ambos términos son importantes para comprender cómo la luz afecta la calidad de una imagen final.

$$l_v = K \frac{E_g}{\theta^2}$$

Ec. 7. Fórmula para la aplicación y cálculo de la luminancia de velo

Donde:

- $l_v$ : luminancia de velo.
- $K$ : depende de las características y facultades del ojo de la persona, pero se suele tomar un valor medio de 10.
- $E_g$ : iluminancia sobre el ojo medida sobre el plano perpendicular de la dirección del ojo.
- $\theta$ : ángulo entre la línea de visión y el ojo de la persona.

#### **2.4.8. Eficiencia de energía**

Esta se puede definir como “La eficiencia energética de una instalación exterior depende de la superficie iluminada, de la iluminancia media y de la potencia total de la instalación”.

$$\varepsilon = S \frac{E_m}{P}$$

Ec. 8. Fórmula de la eficiencia energética

Donde:

- $\varepsilon$ : eficiencia energética.
- $E_m$ : iluminancia media.
- $P$ : potencia total.

#### **2.5. Iluminación con tecnología LED**

Un LED bajo sus siglas en inglés Light Emitting Diode o Diodo Emisor de Luz, consiste en un diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor, comúnmente Silicio, que emite la luz en una o más longitudes de onda cuando es polarizado correctamente.

El diodo se define como un dispositivo electrónico que permite el paso de la corriente en una única dirección, el diodo y su correspondiente circuito eléctrico se encapsulan en una carcasa plástica, de resina epoxi o cerámica según diferentes fabricantes. Este encapsulado consiste en una especie de cubierta sobre el dispositivo y en su interior puede contener uno o varios LED. [7]

### **2.5.1. Características de las luminarias o focos LED**

- Son capaces de operar con voltajes muy bajos.
- Tienen mayor capacidad de iluminación.
- Cuentan con un consumo de energía bajo.
- Poseen larga duración.
- No contienen elementos tóxicos.
- No necesitan tiempo para calentarse.
- Transforman un gran porcentaje de su energía en luz y solo un pequeño porcentaje en calor.

Algunos campos importantes de los que se pueden mencionar en los que se aplica la tecnología LED en iluminación se pueden incluir el alumbrado público, industrial, la automotriz y la iluminación del hogar. [7]

### **2.6. Luminarias con panel solar**

Son un tipo de alumbrado independiente instalado en postes comúnmente, funcionan a base de energía solar, la cual es almacenada en baterías para proveer energía limpia para sistemas de alumbrado público durante la noche.

Poseen diferentes áreas de aplicación en las que podemos mencionar:

- Estacionamientos.
- Vialidades.
- Caminos.
- Parques.
- Casas de campo.
- Comunidades rurales.
- Haciendas o Hoteles.
- Centros recreativos.
- Senderos.
- Vallas publicitarias.
- Sitios en construcción.

Estas luminarias también se pueden clasificar en dos tipos:

Luminarias solares autónomas: integran paneles solares en su estructura y son independientes de las demás luminarias.

Luminarias solares centralizadas: se utiliza un panel fotovoltaico para un grupo de luminarias, utilizando esa misma energía como fuente de energía central. [7]

### **2.6.1. Elementos de la luminaria con panel solar**

Contiene tres principales elementos:

- El panel solar: que transforma la energía del sol en energía eléctrica.
- Sistema de almacenamiento: usando la batería para almacenar la energía y regular el uso, utiliza esta misma a su respectivo momento.
- Elementos de control: se encargan de optimizar la cantidad de energía que se utiliza y que hay que almacenar.

### **2.6.2. Requisitos para su correcta instalación**

- El lugar debe de estar despejado y sin zonas que le puedan dar sombra.
- El suelo debe permitir que la luminaria se fije de manera adecuada, en el caso de utilizar posteo.
- El lugar donde será instalado no deberá de tener temperaturas bajo cero de manera seguida o continua. Este tipo de temperatura afecta al funcionamiento de las baterías internas.

Estos tipos de luminarias benefician de manera inmediata una vez instaladas ya que no requieren de tendido eléctrico, no hay pagos por consumo de la red eléctrica comercial y brindan un cuidado al ambiente. [7]

## **2.7. Norma técnica y reglamento salvadoreño para iluminación exterior**

### **2.7.1. Reglamento COAMSS Y OPAMSS, Art. V.67 Alumbrado Público**

El reglamento COAMSS hace mención que para el alumbrado público los niveles de iluminación mínimos requeridos son de 20 a 30 lux para vías de distribución y 15 a 20 lux en vías de reparto o acceso. Siendo estos niveles de iluminación efectivos a una altura de 2.00 mts sobre el nivel del suelo terminado. [8]

### **2.7.2. Norma técnica salvadoreña – RTS 29.02.01:21**

Los criterios que se tomen o se adopten para un entorno edificado, deberán asegurar la cantidad de luz de este espacio, debe de proporcionar condiciones óptimas para un ambiente visual adecuado, de los cuales se cumplirán los siguientes requisitos. [9, p. 17]

Todas las lámparas y luminarias cubiertas deben cumplir con los requisitos mínimos de eficiencia lumínica:

Tipo de producto	Eficiencia lumínica mínima	
	Etapa I (Entrada en vigor del RTS)	Etapa II (Dos años posterior a la entrada en vigor)
Luminaria LED para carreteras conectadas a tensión de red.	≥ 110 lm/w	≥ 120 lm/w
Luminaria LED solar integrada para alumbrado exterior.	≥ 120 lm/w	≥ 130 lm/w

Tabla 1. Eficiencia lumínica mínima para luminarias en exterior. Datos seleccionados para el tipo de sistema de estudio [9, p. 17]

Estos valores tomaran importancia con respecto a los valores de eficiencia lumínica que el fabricante de luminaria indica acerca del dispositivo comercial.

## 2.8. Elementos de una instalación eléctrica – circuito de iluminación

Una instalación eléctrica consta de dos partes, una parte externa que normalmente corresponde a la acometida y el medidor, y una parte interna en donde se alojan las cargas y los elementos de protección y control.

Para todo profesional en el campo de la electricidad, la parte interna de la instalación eléctrica es de su obligación y de acuerdo con las normas nacionales vigentes, estas deben ser hechas con calidad y seguridad. [10]

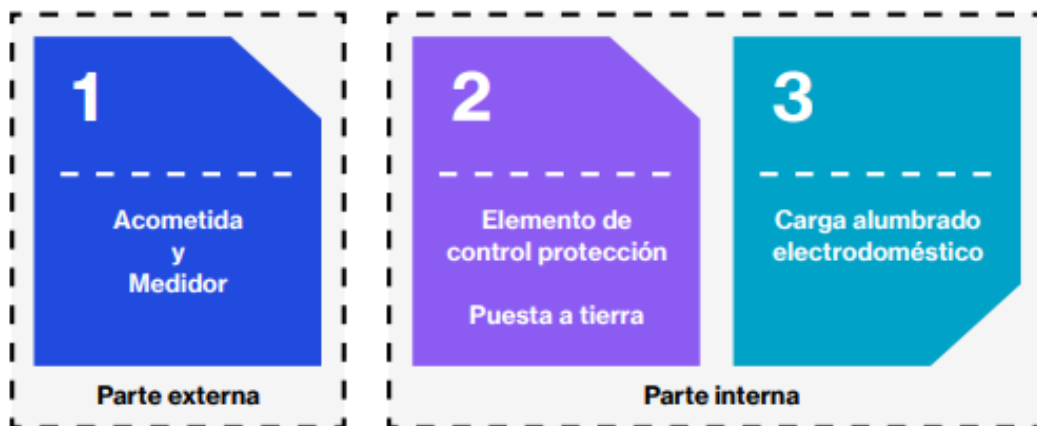


Fig. 5. Bloques representativos sobre los elementos o partes de una instalación eléctrica [10]



### 2.8.1. Cuadro eléctrico

El elemento fundamental para un buen desempeño de la instalación de iluminación es el cuadro eléctrico. Dicho cuadro debe proteger cada uno de los circuitos eléctricos de la instalación y dentro de ellos el circuito de alumbrado. [6]

Las protecciones o termomagnéticos son montados en el tablero o también llamado centro de carga. Toda instalación eléctrica debe de disponer de al menos un tablero de distribución dotado de equipos de protección de tipo fusible o automático, en serie con cada uno de los circuitos en que se subdivide la instalación, en estos tableros de distribución deben de estar localizados en lugares accesibles u controlables desde el interior de la edificación.

Todo tablero debe proteger cada una de las líneas vivas por medio de su respectivo fusible o automático, la protección no debe de ser mayor graduación que la máxima capacidad conductora de la línea en su parte de menor calibre. [5]

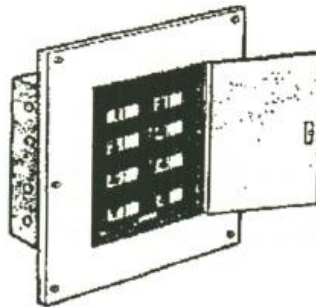


Fig. 6. Ilustración de tablero bifásico, 8 espacios

El número de termomagnéticos o interruptores automáticos que pueden colocarse en un tablero varia desde 2 hasta 42 respondiendo a igual número de circuitos, pudiendo ser monofásicos o trifásicos.

De acuerdo con la protección que ofrecen los tableros se pueden clasificar en:

Tamaño NEMA	USO
1	Uso general
2	A prueba de goteo
3	Servicio de intemperie
3R	A prueba de lluvia
4	A prueba de agua y polvo
5	A prueba de polvo

<b>7</b>	A prueba de gases explosivos
<b>9</b>	A prueba de polvos explosivos
<b>12</b>	Servicio industrial

Tabla 2. Clasificación de tableros según aplicación de trabajo

En general para tableros hay que describir:

- Capacidad de corriente de sus barras, tipo de cubierta y cantidad y tipo de interruptores.
- Forma de montaje: superficial o empotrado.
- Número de espacios y capacidad de las barras.
- Si lleva interruptor principal "MAIN" o no y el tipo de este.

### **2.8.2. Interruptores**

Un interruptor es un aparato destinado a cerrar, abrir o conmutar las conexiones de un circuito eléctrico. [5]

Los interruptores de pequeña capacidad para instalaciones de iluminación se pueden clasificar en:

a) Según método de instalación:

- Empotrado.
- De superficie.
- Colgante.
- De cordón.
- De puerta.
- De lámpara (pera).
- De aparato.

b) Según su función:

- De una vía (uso general).
- De tres vías.
- De cuatro vías.
- Tripolares.
- Tetrapolares.

### 2.8.3. Conductores y clasificación de colores

Generalmente para un circuito de alumbrado el calibre de este será del tipo AWG #14, tanto para el conductor alimentador (fase) como los conductores de retorno y neutro. Se puede mencionar también, que para bajadas desde cajas de salida de techo hasta luminarias que estén empotradas o adosadas se deberá de usar cable TSJ 14/2, TNM 14/2 o TNM 14/3; el cual saldrá de dichas cajas y entrada al cuerpo de las luminarias a través de conectores rectos de ½" pulgada de diámetro independientemente de las cajas de salida situadas en techos o superficies altas. [11]

<b>Fase A</b>	<b>Negro</b>
<b>Fase B</b>	Rojo
<b>Fase C</b>	Azul (sistemas trifásicos)
<b>Neutro</b>	Blanco
<b>Polarización (carcasas metálicas)</b>	Verde
<b>Tierra aislada</b>	Amarillo con rayas color verde
<b>Retorno</b>	Amarillo

Tabla 3. Código de colores para conductores

### 2.8.4. Protecciones

Las protecciones para cualquier tipo de circuito estarán regidas bajo las características que se conozcan a cerca del circuito que se desea implementar, para un circuito de salida de luces o luminarias se tiene.

Protección 15 Amp/1P

Potencia instalada:  $120V \times 15 \text{ Amp} = 1800 \text{ W}$

Para esta potencia instalada se le colocar un margen de seguridad, en este caso del 80%

Potencia máxima de operación:  $1800 \text{ W} \times 80\% = 1440 \text{ W}$

Con este valor podemos conocer el número máximo de luminarias que se puede instalar en esta protección:

Máximo número de luminarias de 100 W: 14 (Considerando siempre la potencia de trabajo de la luminaria, para este ejemplo de 100 W).

Para luminarias con un valor de 200 W se tiene un número máximo de 7 luminarias en una protección de 15 Amperios. [12]

### **2.9. Hora solar pico**

El termino se utiliza para definir el tiempo, en horas, de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m<sup>2</sup>. Este término tiene su siguiente equivalencia:

1 HSP equivale a 3.6 MJ/m<sup>2</sup>. [13]

### **2.10. Radiación solar**

Es bien sabido, que la energía es un fenómeno que ha sido estudiado por muchísimas personas desde diferentes perspectivas, y es que la energía puede ser obtenida mediante distintas procedencias y una de ellas y la más famosa es la energía por radiación solar.

A esta se le denomina, como el conjunto de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por parte del sol, recordando que, el sol es una estrella cuya superficie se encuentra a una temperatura media de 5778 K y que en su interior se dan una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Es a esta energía que libera el sol que se le conoce como radiación solar.

Es necesario conocer las propiedades con las que se puede realizar un cálculo de la energía que proviene del sol, siendo 1000 W por metro cuadrado la energía que incide sobre la superficie terrestre, sin embargo, la potencia se ve condicionada por la eficiencia que posean los paneles fotovoltaicos. [2]

Se conoce gracias a las características regionales, que el promedio anual es de 5.9 horas efectivas de sol diarias, que se convierte en una potencia de sol diaria de 5900 W o 5.9 KW por metro cuadrado. [2]

El parámetro estándar con el que se clasifica la potencia en los paneles fotovoltaicos es la potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas. [2]

#### **2.10.1. En El Salvador**

Dentro del país, se cuenta con un promedio anual de radiación solar es de 5 KW – hora / metro cuadrado. En los meses julio y agosto, el sol se posiciona perpendicular a la superficie del territorio nacional, entregándonos la máxima radiación de 5.9 KW – hora / metro cuadrado. Por el contrario, en

los meses de diciembre y enero, los días son más cortos y el sol se ubica mayormente hacia el sur, presentándonos los valores mínimos de radiación solar. [2]

La irradiación solar diaria es la definición de medir la radiación directa del sol para cada día específico según el número del día del año y el ángulo de la posición de latitud en la que se encuentra el sol. [2]

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 81) \right]$$

Inclinación solar

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta$$

Ángulo latitud de sol

$$m = \frac{1}{\sin \beta}$$

Promedio de la masa del aire,

$$A = 1160 + 75 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 275) \right] \text{ (w/m}^2\text{)}$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 100) \right]$$

$$I_B = A e^{-km}$$

Ec. 9. Fórmulas para el cálculo de la irradiación. [14]

Fórmulas tomadas del manual Renewable and Efficient Electric Power Systems Gilbert M.

Masters (John Wiley & Sons., Publication) 2004 USA.

Donde:

- **L** es la inclinación solar es el ángulo formado entre el plano del ecuador y una línea trazada desde el centro del sol al centro de la tierra.
- **m** es la relación de masa de aire (es una medida de la porción de atmósfera que deben atravesar los rayos solares. Con el sol directamente vertical  $m = 1$  y fuera de la atmósfera  $m = 0$ ).
- El ángulo de latitud del sol  $\beta_N$  es el ángulo entre el sol y la horizontal local directamente bajo el sol a mediodía.

- **k** es la profundidad óptica.
- **A** es el flujo aparente extraterrestre.
- **I<sub>B</sub>** es la irradiación directa en  $W / m^2$ .

La irradiación solar incidente a un panel fotovoltaico está compuesta de la combinación de los rayos directos, la irradiación difusa debido a las nubes y la irradiación reflejada. El cálculo es solamente para la irradiación directa. [2]

Es gracias a las ecuaciones citadas anteriormente, que se facilita encontrar la inclinación óptima de los paneles cada día. [2]

Para una eficiencia mucho mayor en los paneles, es necesario orientar el panel diariamente siguiendo la posición del sol, sin embargo, requiere de un sistema mucho más complejo y que a su vez consume energía, reduciendo la productividad y necesitando de un mantenimiento periódico por las partes mecánicas móviles. Siendo así, orientando el arreglo de paneles con una inclinación igual a la latitud local de 13.4 grados, se logra conseguir una buena producción de energía anual. [2]

En la actualidad, contamos con páginas en internet que proporcionan información acerca de la irradiación solar diaria e inclusive, pronósticos para los días venideros, facilitando la necesidad de cálculos complejos y permitiéndonos ajustarnos a las variables en cuestión.

### **2.11. Energía solar fotovoltaica**

Este tipo de energía se obtiene directamente de la radiación solar para la generación de electricidad. Es considerada como la tercera fuente de energía renovable utilizada a nivel mundial debido a su mayor eficiencia y menor costo en comparación de otras energías renovables y generadores de electricidad convencionales.

Los sistemas fotovoltaicos son de fácil instalación y mantenimiento. La captación de la radiación solar se transforma en energía eléctrica de corriente continua; ésta se caracteriza por los valores de tensión y corriente de salida y que, a su vez, depende de la cantidad de paneles solares instalados en el sistema, su orientación e inclinación, además, de la incidencia de los rayos solares. [13]

### **2.12. Sistemas fotovoltaicos**

Estos están compuestos por módulos fotovoltaicos, los cuales son empleados como sistemas de captación de energía proveniente del sol que ayudan a transformar la energía solar en energía eléctrica. [13]

### 2.12.1. Principio fotovoltaico

El principio básico de los módulos fotovoltaicos es la conversión de luz solar en electricidad, este proceso se logra gracias a la propiedad de algunos materiales de absorber fotones y emitir electrones; la captura de estos electrones libres provoca que se genere corriente eléctrica.

Las celdas o células fotovoltaicas están compuestas por materiales semiconductores; en su mayoría, elaboradas de silicio. Una delgada lámina semiconductor, previamente tratada, genera un campo eléctrico; cuando la energía luminosa incide sobre su superficie, los electrones son golpeados y extraídos de los átomos del material semiconductor.

Como se han dispuesto conductores eléctricos en forma de rejilla que cubre ambas caras del semiconductor, los electrones que circulan generan corriente eléctrica.

Cuando la luz solar incide en una celda solar, ésta puede ser reflejada, absorbida o pasar limpiamente, sin embargo, la luz absorbida es la encargada de generar electricidad.

Las células solares son como un diodo (la parte expuesta a la radiación solar es N y la parte opuesta, P) es decir, los electrones fluyen del lado P al lado N ocasionando un voltaje interno y al ver presencia de una resistencia se logra generar corriente eléctrica. Los terminales de conexión se encuentran sobre cada una de las partes del diodo: la zona P se encuentra metalizada por completo (sin presencia de luz) y la zona N tiene forma de peine para que la radiación solar llegue al semiconductor. [13]

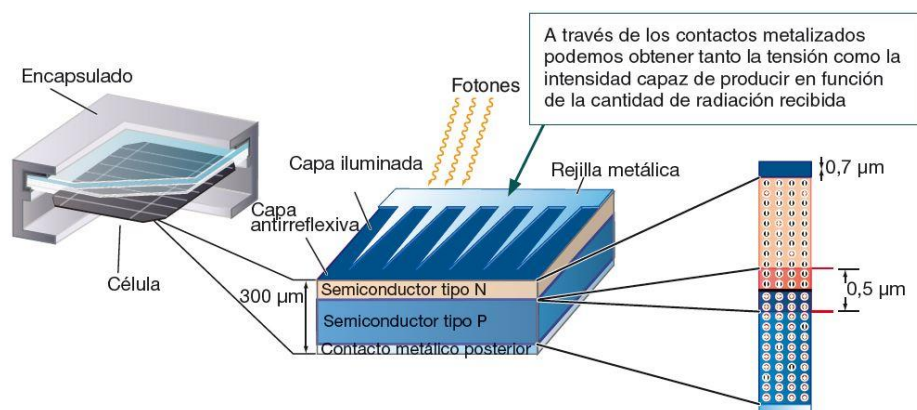


Fig. 7. Esquema de función de una celda fotovoltaica

### 2.12.2. Características y estructura

Las celdas fotovoltaicas, generalmente de silicio, se fabrican, mayoritariamente, con 3 tipos de tecnologías: monocristalinos, policristalinos o silicio amorfo.

Sus características son:

- **Cristalinidad:** Indican el grado de orden de la estructura cristalina de los átomos de silicio.
- **Coefficiente de absorción:** Indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbida por el material. Depende del material de la célula y longitud de onda de luz.
- **Costo y complejidad de fabricación:** El costo está directamente relacionado con la tecnología y complejidad de fabricación; la cual depende de los materiales empleados, y el ambiente de elaboración.

Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
<b>Monocristalino</b>	24%	15.18%	De color azul homogéneos, su conexión es individual entre cédulas.	Obtenido de silicio puro fundido y dopado con boro.
<b>Policristalino</b>	19.20%	12.14%	Su superficie se estructura en cristales y contiene distintos tonos azules.	Mismo proceso que el monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
<b>Amorfo</b>	16%	< 10%	De un color homogéneo, pero no existe conexión visible entre cada cédula.	Como ventaja, se deposita en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Tabla 4. Comparación entre las diferentes características y tecnología en celdas fotovoltaicas



Según se observa, los tipos de celdas monocristalinos tienen mayor rendimiento y elevado costo; los policristalinos, tienen menor costo que los demás siendo las más comercializadas; y los tipos de celda, compuestos por silicio amorfo, al tener menor rendimiento, son aplicados en sistemas de baja potencia. [13]

### **2.13. Aplicaciones del sistema fotovoltaico**

Los paneles fotovoltaicos son empleados según las necesidades del usuario o población, cada una de las aplicaciones tiene ventajas e inconvenientes según el trabajo a realizar. El conjunto de paneles o módulos fotovoltaicos forman el sistema o generador fotovoltaico. Existen tres tipos de aplicaciones generales, las cuales son:

#### **2.13.1. Sistema aislado u autónomo**

Generalmente, empleado en lugares alejados con difícil acceso a la red eléctrica. Este sistema también puede ser empleado en trabajos de poca demanda energética dentro de la ciudad; como, por ejemplo, la iluminación para un establecimiento dedicado a alguna actividad económica. Se encuentra conformado por: [13]

- Paneles fotovoltaicos.
- Batería.
- Regulador de carga.
- Inversor.
- Dispositivos de protección y medición.

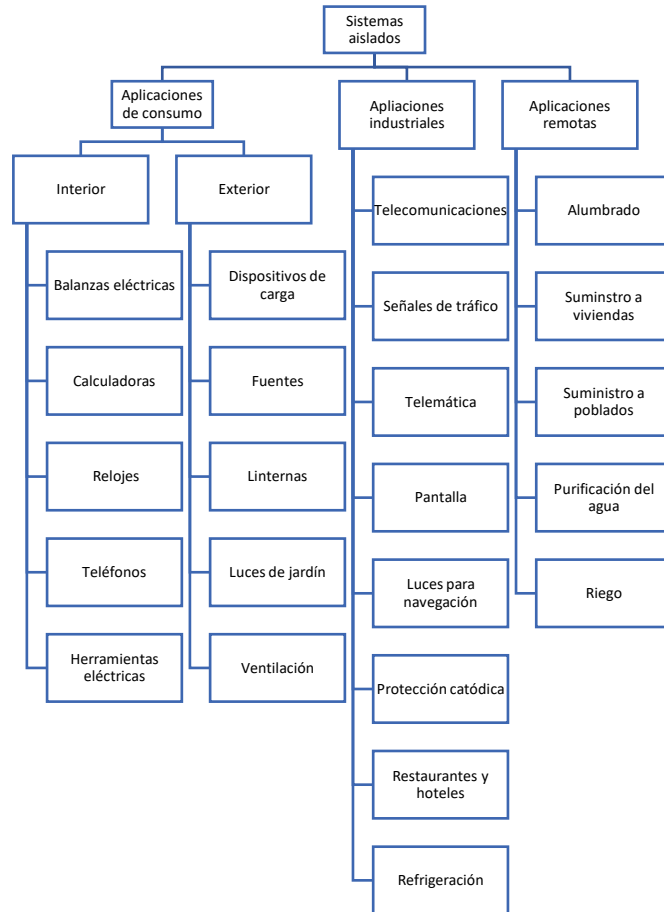


Fig. 8. Aplicaciones de un sistema aislado [15]

### 2.13.2. Sistema conectado a la red

Este tipo de sistema tiene como función principal generar energía eléctrica en condiciones adecuadas para ser inyectada a la red convencional. Se emplea, por lo general en lugares urbanos desarrollados. Se encuentra constituido básicamente por:

- Paneles fotovoltaicos.
- Inversor.
- Dispositivos de protección y medición.

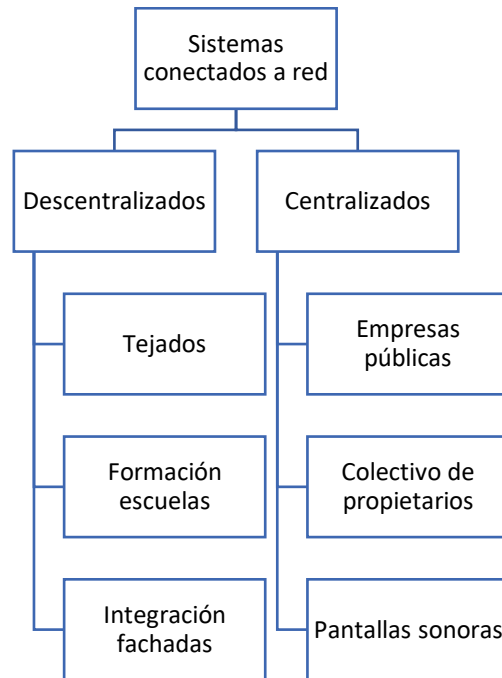


Fig. 9. Aplicaciones de sistemas conectados a la red [15]

La cantidad de elementos es menor que el anterior sistema de aplicación debido a que no emplea almacenamiento de energía, puesto que, si la cantidad de energía generada es menor que la requerida, la red eléctrica lo satisface. [13]

### 2.13.3. Sistema híbrido

Este sistema combina más de una fuente de generación de energía, siendo un sistema más robusto y confiable de generación eléctrica; es poco empleado debido a su alto costo de implementación. [13]

## 2.14. Componentes del sistema fotovoltaico

A continuación, se explica las características y parámetros principales de cada elemento eléctrico del sistema fotovoltaico autónomo, como también, las consideraciones que se deben tomar para su selección. [13]

### 2.14.1. Paneles fotovoltaicos

Los paneles solares o módulos fotovoltaicos son la base fundamental de un sistema encargado de captar la energía proveniente del sol para ser transformada en energía eléctrica; puede ser empleada para satisfacer necesidades poblacionales. [13]

### 2.14.2. Parámetros de funcionamiento de un módulo fotovoltaico

El funcionamiento de una célula solar o panel se representa mediante una curva característica I-V que define su comportamiento: [16]

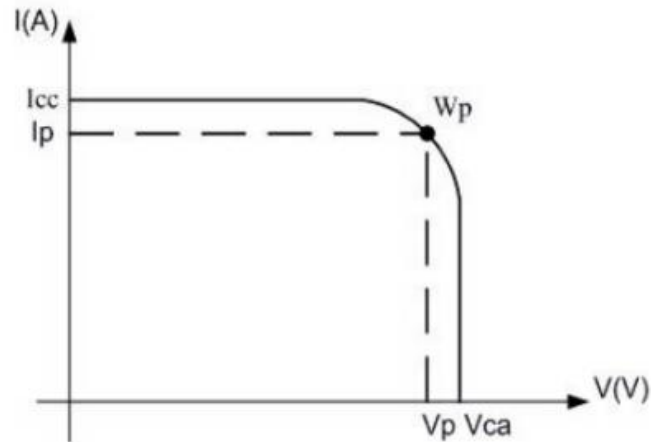


Fig. 10. Curva característica I-V de un módulo o panel solar

Los parámetros de funcionamiento nos indican las condiciones de trabajo que son entregadas por el fabricante en las especificaciones técnicas: [13]

- **Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ):** Tensión producida cuando no hay ninguna carga conectada a la célula solar y depende del material del cual está fabricada. Su valor se sitúa alrededor de los 0,5 V. [16]
- **Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ):** Máximo valor de corriente generada cuando los terminales de la célula están cortocircuitados. [13]
- Para cédulas de 10 cm de diámetro, su valor se aproxima a los 2,4 A para una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ . [16]
- **Tensión en el punto de máxima potencia ( $U_{mpp}$ ):** Tensión correspondiente a la potencia máxima.
- **Potencia eléctrica máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ):** También denominada potencia pico, es la potencia correspondiente cuando el producto de la intensidad y la tensión es máximo. [13]

También, se puede definir por el punto de la curva I-V en que se consigue un valor máximo, los puntos restantes de la curva generan valores inferiores. [16]

Este punto máximo corresponde a una intensidad y tensión concretas,  $I_p$  y  $V_p$ .

$$W_p = V_p \cdot I_p \text{ [Watts pico]}$$

Ec. 10. Potencia nominal, potencia generada por el panel en condiciones estándar

En las hojas de datos entregada por el fabricante, también se consideran estos tipos de especificaciones o parámetros térmicos de funcionamiento: [13]

- **Temperatura de operación nominal de la célula (TONC):** Temperatura media de equilibrio del módulo fotovoltaico medido en condiciones de temperatura de operación nominal de la célula.
- **Coeficientes de temperatura:** Ayudan a determinar el valor de los parámetros eléctricos en condiciones de temperatura distinta a las de los ensayos normalizado. Son los siguientes:
- **Coeficiente intensidad-temperatura ( $\alpha$ ):** Variación de la intensidad de cortocircuito por grado centígrado de variación de la temperatura del módulo fotovoltaico. Sus unidades se especifican en valor absoluto en mA/°C o en valor relativo como %/°C.

### 2.14.3. Orientación del módulo fotovoltaico

La orientación óptima del módulo fotovoltaico permite captar la mayor radiación solar posible. Se calcula mediante coordenadas angulares, que son similares a las coordenadas empleadas para definir la posición del sol:

- **Ángulo de azimut ( $\alpha$ ):** Ángulo formado entre la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección Sur (módulo fotovoltaico ubicado en el hemisferio norte). Su valor es 0° si coincide con la orientación sur; si su orientación coincide con el este, su valor es -90° y si coincide con el oeste, es igual a 90°. (Ver figura 11)
- **Ángulo de inclinación ( $\beta$ ):** Ángulo formado entre la superficie del generador y el plano horizontal. Su valor es 0° si el módulo es paralelo a la horizontal y es 90° si se coloca vertical.

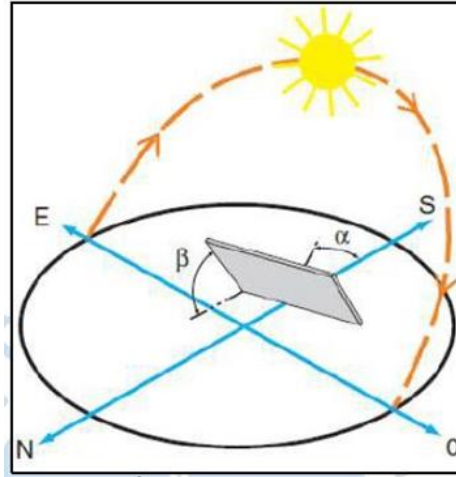


Fig. 11. Esquema representativo de los ángulos azimut y de inclinación

La superficie del generador debe ser perpendicular a la dirección de los rayos del sol para poder obtener la mayor cantidad de energía posible. La trayectoria del sol es distinta durante el día y el año, por lo que existen sistemas fotovoltaicos capaces de seguir su trayectoria para obtener la mayor cantidad de radiación solar anual posible; lo habitual es tener una superficie con orientación fija. [13]

Para obtener la máxima captación de energía solar, el ángulo de azimut debe ser nulo ( $\alpha=0^\circ$ ); es decir, la superficie de un módulo fijo debe estar orientada hacia el sur si se encuentra situada en el hemisferio norte o hacia el norte si se encuentra en el hemisferio sur.

Para hallar la inclinación óptima de una superficie fija, se emplea una fórmula basada en estudios estadísticos de un módulo ubicado en distintos lugares con distintas inclinaciones proporcionándonos la inclinación óptima ( $\beta_{opt}$ ) dependiendo de la latitud del lugar, la cual es válida para aplicaciones de trabajos anuales que busquen la máxima captación durante el año:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi| [^\circ]$$

Ec. 11. Fórmula para encontrar la inclinación óptima

Con el cálculo de la inclinación media óptima, se puede encontrar la media anual de irradiación global diaria sobre una superficie inclinada, denominada  $G_a(\beta_{opt})$ , a partir de los valores anuales de irradiación global diaria horizontal tomando en cuenta los datos de latitud del lugar y azimut cero. [13]

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{G_1(0)}{1 - 4.46 \times 10^{-4} \times \beta_{opt} - 1.19 \times 10^{-4} \times \beta_{opt}^2} \text{ [Kwh/m}^2\text{]}$$

Ec. 12. Fórmula para media anual de irradiación global diaria

## 2.15. Tipo de conexión de módulos fotovoltaicos

El tipo de conexión dependerá de las demandas de voltaje y corriente que se desea en el sistema. Se pueden realizar tres tipos de conexiones:

### 2.15.1. Conexión en serie

La intensidad del generador es igual a la del módulo y la tensión del generador es la tensión de un módulo por el número de módulos en serie.

$$I_G = I_M \text{ [A]}$$

$$U_G = N_S \times V_M \text{ [V]}$$

### 2.15.2. Conexión paralelo

La tensión del generador es igual a la del módulo y la corriente del generador es la intensidad de un módulo por el número de módulos en paralelo.

$$I_G = N_S \times I_M \text{ [A]}$$

$$U_G = U_M \text{ [V]}$$

El ultimo tipo de conexión se conoce como serie/paralelo, combina los dos tipos anteriores de conexiones y permite elevar la tensión y corriente del generador.

## 2.16. Batería

La batería, junto con los módulos solares, son los componentes a los que más empuje tecnológico se les ha demandado porque de sus prestaciones depende el desarrollo de la energía verde en su aplicación fotovoltaica. [17]

### 2.16.1. Funcionamiento

Las baterías funcionan acumulando y cediendo energía eléctrica por una reacción química. [18]

Durante la carga, la energía se transforma en química y en la descarga al revés. El proceso se produce entre dos placas de metal (electrodos) y un líquido con carga eléctrica (electrolito) que se descompone para producir corriente durante la descarga y a la inversa en la descarga. [18]

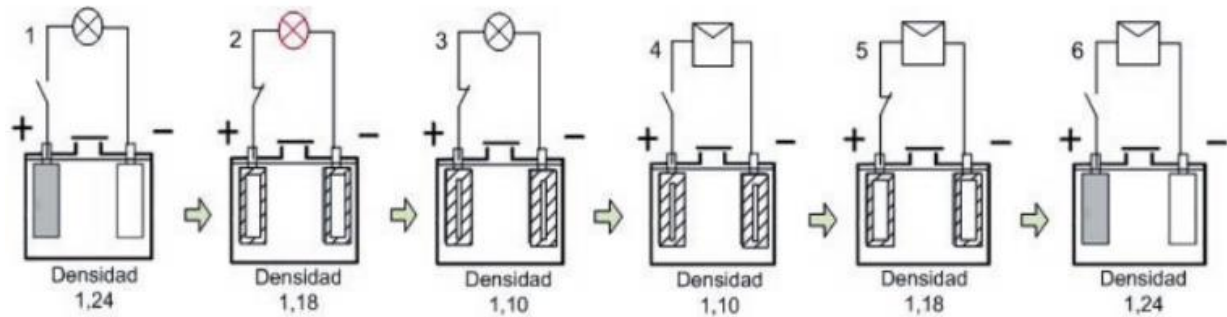


Fig. 12. Proceso de descarga y carga de la batería [17]

Estado	Electrolito	Placa negativa	Placa positiva
<b>1 – Carga</b>	Máximo ácido Mínima agua	Plomo esponjoso	Dióxido de plomo
<b>2 – En descarga</b>	Baja el ácido Sube el agua	Baja el plomo Sube el sulfato de plomo	Baja el dióxido de plomo Sube el sulfato de plomo
<b>3 – 4 Descargada</b>	Mínimo ácido Máxima agua	Mínimo plomo Máximo sulfato de plomo	Mínimo dióxido de plomo Máximo sulfato de plomo
<b>5 – En carga</b>	Sube el ácido Disminuye el agua	Sube el plomo Baja el sulfato de plomo	Sube dióxido de plomo Baja sulfato de plomo
<b>6 - Cargada</b>	Máximo ácido Mínima agua	Plomo esponjoso	Dióxido de plomo

Tabla 5. Descripción del proceso de carga y descarga de la batería [17]

En el proceso de descarga, el ácido se transforma en sulfato de plomo y disminuye el grosor de las placas. Cuanto mayor sea el grosor más capacidad tiene la batería.

En el proceso de carga, el ácido vuelve al electrolito, el plomo y dióxido de plomo en las placas. En este proceso hay pérdidas de hidrógeno y oxígeno que hacen necesario reponer el agua perdida.

En el proceso de descarga se pierde plomo y en la carga electrolito, ilimitando la vida de los acumuladores. [18]



## **2.17. Tipos de batería**

Las baterías dan una energía constante, aunque los paneles capten a intervalos. Pueden suministrar una potencia más alta, como en el arranque de fluorescentes o motores. [18]

### **2.17.1. Baterías de plomo**

La configuración de una batería de ácido plomo pertenece a la clasificación de baterías secundarias, es decir baterías recargables o acumuladores; fue desarrollada por el físico francés Gastón Planté en 1859. [19]

Una batería de plomo es un tipo de batería recargable que utiliza placas de plomo sumergidas en ácido sulfúrico como electrolito para generar una corriente eléctrica. Estas baterías se utilizan comúnmente en vehículos como automóviles y motocicletas, así como en sistemas de respaldo de energía para aplicaciones como telecomunicaciones y energía solar.

Las baterías de plomo ácido consisten en varias celdas conectadas en serie, cada una de las cuales contiene dos placas de plomo sumergidas en una solución de ácido sulfúrico. Durante la carga, se produce una reacción química que convierte las placas de plomo en dióxido de plomo y plomo esponjoso, y durante la descarga, la reacción se invierte y las placas de plomo se convierten en ácido sulfúrico y plomo esponjoso.

Las baterías de plomo son populares debido a su bajo costo, alta densidad de energía y capacidad para proporcionar una corriente eléctrica constante y confiable. Sin embargo, también tienen algunas limitaciones, como una vida útil relativamente corta y la necesidad de mantenerlas adecuadamente para evitar dañar las celdas y reducir su vida útil.

### **2.17.2. Batería de litio**

Una batería de litio es un tipo de batería recargable que utiliza iones de litio como su componente principal para generar una corriente eléctrica. Estas baterías se utilizan en una amplia variedad de dispositivos electrónicos portátiles, como teléfonos móviles, computadoras portátiles, cámaras, drones, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía.

Las baterías de litio funcionan mediante la transferencia de iones de litio entre un cátodo y un ánodo a través de un electrolito. Durante la carga, los iones de litio se mueven desde el cátodo al ánodo, mientras que, durante la descarga, los iones de litio se mueven en la dirección opuesta, produciendo una corriente eléctrica.

Las baterías de litio son populares debido a su alta densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar mucha energía en un espacio pequeño y liviano. También tienen una larga vida útil, pueden recargarse rápidamente y no sufren de efecto memoria, lo que significa que no pierden capacidad de carga con el tiempo.

Sin embargo, las baterías de litio también tienen algunas limitaciones, como el riesgo de sobrecalentamiento y explosión si se dañan o se utilizan incorrectamente, por lo que es importante manejarlas con cuidado y seguir las instrucciones del fabricante para su uso y carga adecuada.

### 2.18. Características

**a) Capacidad nominal (C).** La cantidad de energía que se obtiene en una descarga. Se mide en Amperios-hora (Ah). [18]

$$C = \text{Intensidad} \cdot \text{Tiempo descarga} = \text{Ah}$$

Tiempo y régimen de descarga:

La capacidad se suele referir a 10, 20 o 100 horas, esta nomenclatura es:

$$55 \text{ Ah } C_{20} \rightarrow C_{20} \text{ el tiempo de descarga son 20 horas}$$

La corriente es el régimen de descarga, que varía según el tiempo de descarga:

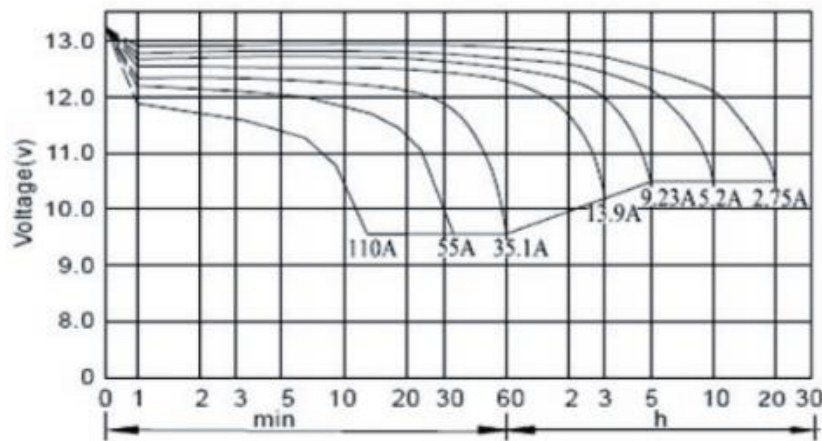


Fig. 13. Ejemplo de descarga de una batería de 55 Ah C20 a diferentes regímenes

**b) Profundidad de descarga (PD).** La capacidad que se puede descargar respecto a la nominal. Hay acumuladores de:

- **Descarga superficial.** Descargas entre 10 y 15% normalmente, pudiendo llegar al 40-50%. Se utilizan en equipos de telecomunicaciones.

- **Descarga profunda.** Descargas entre un 20 y un 25% normalmente, pudiendo llegar al 80%. Son las utilizadas en fotovoltaica.

c) **Vida útil en ciclos.** Un ciclo está formado por una carga y una descarga. A mayor profundidad de descarga, menos ciclos de vida tiene la batería. [18]

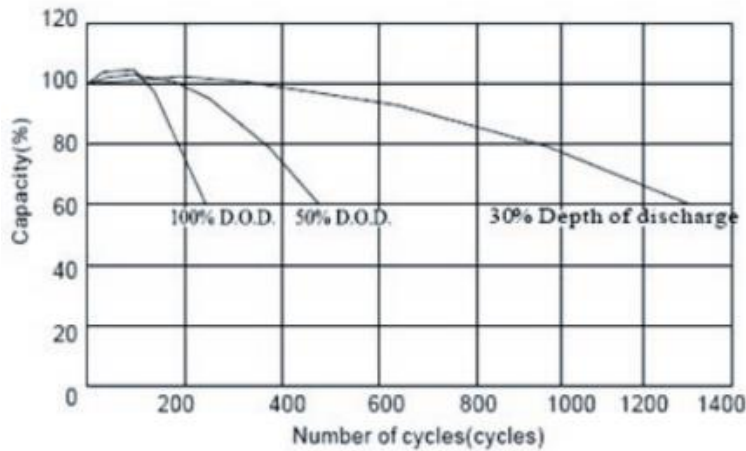


Fig. 14. Ciclos según descarga (DOD: profundidad de descarga)

Las baterías pierden un 10% de capacidad en la mitad de su vida y otro 10% hasta que dejan de funcionar, se ha de tener en cuenta para aplicaciones muy seguras. [18]

### 2.19. Cálculo de batería

Lo primero es conocer el consumo de la instalación, en este caso, se supone una casa con las siguientes cargas: [18, p. 48]

Servicio	Unidades	Potencia [W]	Horas/día	Consumo diario [Wh/día]
Lámparas	8	10	2,5	200
Televisión	1	60	2	120
Refrigeradora	1	200	6	1200
Lavadora	1	400	0,75	300
<b>Potencia total, Pt:</b>		<b>670</b>	<b>Energía diaria, Ed:</b>	<b>1820</b>

Tabla 6. Ejemplo de consumo total de una vivienda

La Ed en unidad de Ah le llamaremos consumo diario  $L_D$  (Load Daily).

$$L_D = \frac{E_D}{V}$$

Ec. 13. Fórmula para encontrar el consumo diario

Siendo V la tensión de la batería. Si las baterías son de 12 v, el consumo diario es:

$$L_D = \frac{1820}{12} = 151,66 \frac{Ah}{día}$$

Se considera también los días de autonomía para la batería y los consumos de la instalación:

- Autonomía mínima (A): 3 días, tiempo en el que la batería dará energía y no recibirá.
- Consumo regulador y batería un 20% de su potencia  $\rightarrow \eta_{rb} = 80\%$
- Consumo de inversor un 15% de su potencia  $\rightarrow \eta_{inv} = 85\%$

También se incluye la profundidad de descarga ( $P_d$ ). Es la parte útil, que de media será un 70%.

Tenemos:

$$C = \frac{L_D * A}{P_d * \eta_{rb} * \eta_{inv}} \rightarrow \frac{151,66 * 3}{0,7 * 0,8 * 0,85} = 955,84 \text{ Ah}$$

Ec. 14. Incluyendo la profundidad de descargar en la fórmula para tiempo de descarga

Ahora para completa y conocer el tiempo diario de consumo ( $t_D$ ) lo definimos con la siguiente formula.

$$t_D = \frac{E_D}{P_T} \rightarrow \frac{1820 \text{ Wh/día}}{670 \text{ W}} = 2,71 \text{ h/día}$$

Ec. 15. Fórmula para encontrar el tiempo diario de consumo

Ahora se multiplica este resultado por los días de autonomía (3 días):

$$C_x = t_D * A \rightarrow 2,71 \frac{h}{día} * 3 \text{ días} = 8,13 \text{ h} \rightarrow \text{Será } C_{20}$$

Ec. 16. Fórmula para determinar el tiempo de descarga

Para este ejemplo la vivienda necesita una batería de 955,84 Ah  $C_{20}$ .

## **2.20. Otras características**

### **2.20.1. Capacidad útil**

La capacidad utilizable de una batería se refiere a la cantidad de energía eléctrica que puede entregar la batería antes de necesitar ser recargada. Se calcula multiplicando la capacidad nominal de la batería por la profundidad de descarga.

La capacidad nominal de una batería se expresa en amperios-hora (Ah) y representa la cantidad total de energía que puede almacenar la batería en condiciones ideales. La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad nominal de la batería que se utiliza antes de que la batería necesite ser recargada.

Por ejemplo, si una batería tiene una capacidad nominal de 100 Ah y se descarga al 50% antes de ser recargada, la capacidad utilizable sería de 50 Ah ( $100 \text{ Ah} \times 0,5 = 50 \text{ Ah}$ ). En este caso, la batería podría entregar 50 Ah de energía antes de necesitar ser recargada.

Es importante tener en cuenta que la profundidad de descarga afecta la vida útil de la batería, ya que cuanto más profunda sea la descarga, más rápido se desgastará la batería. Por lo tanto, es recomendable no descargar la batería más allá del 80% de su capacidad nominal para prolongar su vida útil.

### **2.20.2. Estado de carga**

El Estado de Carga (EC o SOC, por sus siglas en inglés de State of Charge) de una batería es un indicador del nivel de carga actual de la batería con relación a su capacidad nominal. Se expresa como un porcentaje que indica la cantidad de energía eléctrica disponible en la batería en ese momento. [18]

El Estado de Carga se calcula dividiendo la capacidad actual de la batería por su capacidad nominal y multiplicando el resultado por 100 para expresarlo como un porcentaje. Por ejemplo, si una batería tiene una capacidad nominal de 100 Ah y su capacidad actual es de 75 Ah, su Estado de Carga sería del 75% ( $75 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah} \times 100 = 75\%$ ).

El Estado de Carga es una medida importante para conocer la cantidad de energía disponible en la batería y planificar el uso de esta. También es importante tener en cuenta que la precisión del Estado de Carga puede variar dependiendo del tipo de batería y del sistema de medición utilizado. Por lo tanto, es recomendable utilizar dispositivos de medición de alta precisión para obtener una lectura exacta del Estado de Carga de la batería.

### **2.20.3. Auto descarga**

El auto descarga es la pérdida de energía que experimenta una batería cuando no se utiliza, es decir, cuando está en circuito abierto. Esto se debe a procesos internos de la batería que generan una corriente eléctrica interna, lo que conduce a una pérdida gradual de carga con el tiempo.

La tasa de auto descarga varía según el tipo de batería y se mide a una temperatura específica, generalmente a 25°C. Se expresa en porcentaje por mes y se refiere a la cantidad de energía que se pierde por mes con relación a la capacidad nominal de la batería.

Por ejemplo, si una batería tiene una capacidad nominal de 100 Ah y su tasa de auto descarga es del 1% por mes, perderá 1 Ah de carga por mes cuando no se utilice. Después de un mes, su capacidad se reducirá a 99 Ah, después de dos meses a 98 Ah y así sucesivamente.

Es importante tener en cuenta la tasa de auto descarga al almacenar baterías, ya que, si se almacenan durante períodos prolongados sin recarga, pueden perder su carga y su vida útil se verá afectada. Por lo tanto, es recomendable almacenar las baterías en lugares frescos y secos y recargarlas regularmente para mantener su capacidad y prolongar su vida útil.

### **2.20.4. Tensión de batería**

La tensión de las baterías varía dependiendo del tipo de batería y del estado de carga. En el caso de baterías de plomo-ácido de 12V, los valores típicos para determinar si una batería está cargada o descargada son los siguientes:

**Batería cargada:** la tensión de una batería completamente cargada suele estar entre 12,6 y 12,8 voltios en reposo (sin carga ni descarga).

**Batería parcialmente cargada:** si la tensión de la batería es de alrededor de 12,4 voltios, la batería está parcialmente cargada.

**Batería descargada:** una batería descargada tiene una tensión de alrededor de 11,9 voltios o menos.

Es importante tener en cuenta que estos valores pueden variar dependiendo del tipo de batería y de las condiciones ambientales, por lo que es recomendable consultar las especificaciones del fabricante para obtener valores más precisos y actualizados. Además, es importante tener en cuenta que la tensión de la batería no siempre es una medida precisa del estado de carga, especialmente cuando la batería está en uso, ya que la tensión puede variar debido a la carga o descarga de la batería.

### **2.20.5. Temperatura de batería**

La temperatura es un factor importante que afecta tanto a la tensión como a la capacidad de una batería. A temperaturas más altas, la tensión de la batería disminuye, mientras que su capacidad puede verse reducida. A temperaturas más bajas, la tensión puede aumentar, pero la capacidad puede verse aún más reducida.

La mayoría de los valores comerciales de las baterías están dados a una temperatura de 25°C, que se considera la temperatura estándar para mediciones de baterías. Sin embargo, la temperatura real de operación de una batería puede variar significativamente dependiendo de las condiciones ambientales.

Es importante tener en cuenta que la temperatura también puede afectar la vida útil de la batería. Las temperaturas elevadas aceleran la degradación de las celdas de la batería, lo que puede reducir su vida útil y aumentar la tasa de falla. Por otro lado, las temperaturas más bajas pueden reducir la capacidad de la batería y hacer que sea más difícil cargarla.

Por lo tanto, es recomendable utilizar baterías diseñadas para funcionar en las condiciones ambientales previstas y tomar medidas para proteger las baterías de temperaturas extremas, como la instalación de sistemas de refrigeración o de calentamiento en los lugares donde se almacenan o se usan las baterías. [18]

### **2.20.6. La sobrecarga**

La sobrecarga es un problema común en las baterías recargables, y ocurre cuando se aplica una carga eléctrica excesiva a la batería, lo que puede provocar daños permanentes en la batería y reducir su vida útil. A partir de cargas superiores a 2,35 V por celda (para baterías de plomo-ácido de 12 V, esto equivale a 14,1 V), las baterías comienzan a gasificarse, lo que significa que el electrolito (la solución líquida que contiene los iones conductores) se descompone en sus componentes gaseosos.

Cuando las baterías se sobrecargan, el agua dentro del electrolito se divide en sus componentes de oxígeno e hidrógeno, lo que puede aumentar la presión dentro de la batería y hacer que se produzcan burbujas de gas. Esto puede provocar que la batería se caliente, se hinche o incluso explote si se somete a una sobrecarga excesiva y prolongada.

Es importante tener en cuenta que la sobrecarga también puede dañar los componentes electrónicos que están conectados a la batería, como los reguladores de voltaje o los sistemas de carga. Por lo tanto, es importante utilizar cargadores adecuados y evitar la sobrecarga de las baterías recargables para prolongar su vida útil y prevenir accidentes.

## **2.21. Regulador**

Este controla el flujo de energía que puede circular entre un sistema de paneles fotovoltaicos y un campo de baterías. Esto se hace al controlar de manera constante el voltaje y la corriente proveniente de los paneles fotovoltaicos en camino hacia las baterías.

Sin un controlador solar, las baterías pueden ser dañadas por la carga entrante y regresar la carga a los paneles cuando el sol no esté brillando. Por lo tanto, los reguladores son esenciales para llenar óptimamente un campo de baterías, alargar su vida útil y prevenir pérdidas de energía en un sistema fotovoltaico.

Estas son algunas de las funciones que cumplen los reguladores de carga solar.

- Previene que la carga se regrese del campo de baterías al sistema fotovoltaico cuando no se está generando energía.
- Protegen a las baterías frente a descargas profundas o sobrecargas en el sistema que pueden dañarlas.
- Protegen a los paneles en contra de cortocircuitos.
- Proporcionan información referente al estado del sistema, como el estado de las baterías y la corriente generada, así como los datos históricos de carga. Este punto sólo aplica a reguladores de carga con algún tipo de monitor de control incluido.

### **2.21.1. Características de un regulador**

- El regulador se configura para la batería que tenga conectada y aplicará el algoritmo adecuado que maximizará la vida útil del acumulador. [20]
- También protege la batería contra las posibles sobrecargas y voltajes excesivos, compensando un voltaje superior desde el campo fotovoltaico para que la batería no se dañe en función del estado de carga en el que se encuentre en cada momento. [20]
- Los reguladores en función del fabricante se pueden complementar con pantallas externas, dispositivos de comunicación, o bien se encuentra integrado en el propio inversor si es del tipo 3 en 1. [20]
- Los reguladores de carga controlan la cantidad de energía que se carga en las baterías, evitando así que se sobrecarguen. Algunos reguladores de carga pueden ajustar la cantidad de energía cargada en función de las condiciones de la batería y del panel solar.



- Los reguladores de carga suelen tener la capacidad de detectar el voltaje de la batería y ajustar la carga en consecuencia. Algunos reguladores de carga tienen un voltaje flotante que permite mantener las baterías completamente cargadas sin sobrecargarlas.
- Protección contra sobrecarga: Los reguladores de carga están diseñados para proteger las baterías contra la sobrecarga. Si se detecta que una batería está llegando a su capacidad máxima, el regulador de carga cortará el flujo de energía proveniente del panel solar.
- Medición de corriente: Los reguladores de carga suelen tener una medición de corriente que permite monitorizar el flujo de energía que entra y sale de las baterías.
- Pantalla de monitorización: Algunos reguladores de carga tienen pantallas de monitorización que muestran información como el estado de la batería y la cantidad de energía que se está generando y cargando.

## 2.22. Tipos de reguladores

Existen dos maneras distintas de controlar este flujo, las cuales corresponden a los **dos** tipos de controladores de carga:

- Modulación por Ancho de Pulsos (PWM).
- Seguimiento de Punto de Máxima Potencia. (MPPT).

A continuación, se describen estos procesos:

### 2.22.1. Modulación por ancho de pulsos

Conocido también como PWM, por sus siglas en inglés de “**Pulse Width Modulation**”, es un proceso que se usa para reducir el flujo de poder que el regulador de carga entrega a la batería cuando está completamente cargada.

Este tipo de reguladores funcionan como un interruptor de paso, el cual conecta el panel solar a la batería. Cuando la batería está completamente cargada, el controlador simplemente desconecta los paneles fotovoltaicos.

Además, este proceso autorregula caídas y subidas de voltaje y temperatura que se pueden presentar de manera repentina en un sistema fotovoltaico. De esta manera se **ejerce menor estrés en la batería** reduciendo el calentamiento, aumentando considerablemente la aceptación de carga de la batería y prolongando su vida útil.

Los reguladores PMW se usan en sistemas fotovoltaicos cuya tensión generada **es igual o menor a la del banco de baterías**. Los equipos más abundantes de la industria operan exclusivamente

a máximas de carga de 10, 20 o 30 amperios para sistemas de baterías de 12 o 24 voltios. Por lo tanto, estos reguladores están limitados en sistemas pequeños fuera de la red. [21]

### 2.22.2. Seguimiento de punto de máxima potencia

MPPT por sus siglas “**Maximum power point tracking**” es un algoritmo que permite al sistema fotovoltaico **maximizar la extracción de energía conforme va cambiando la radiación solar** que recibe el panel a lo largo del día. Esto se logra al igualar la carga proveniente del sistema fotovoltaico y el campo de baterías.

Al usar un controlador MPPT, el sistema empezará operando al Punto Máximo de Potencia (PPT), es decir, al potencial donde se puede generar la mayor cantidad de poder neto.

El regulador opera como un convertidor CD-CD de alta frecuencia, el cual toma la carga en CD, la convierte en CA, la pasa a través de un transformador comúnmente, un toroide y finalmente la rectifica a CD con el mismo voltaje de la batería.

Los reguladores MPPT son capaces de operar en sistemas fotovoltaicos con tensiones superiores al campo de baterías. Además, estos sistemas conservan una mayor cantidad de energía ya que el proceso de conversión CD-CD de alta frecuencia conserva la gran mayoría del poder neto generado.

Comparado con los reguladores de carga PWM; los reguladores MPPT son más caros y menos accesibles, pero pueden ser usados en sistemas de mayor potencia. Además, estos reguladores pueden ser usados en sitios con menor radiación solar debido a climas más nublados. [17]

### 2.23. Parámetros para considerar en la selección de un regulador

- **Tensión nominal:** El regulador debe tener una capacidad de tensión nominal adecuada para el sistema en el que se integrará.
- **Capacidad de corriente:** El regulador de carga debe ser capaz de manejar la corriente máxima que se generará en el sistema.
- **Tipo de regulador:** Hay dos tipos comunes de reguladores de carga: PWM y MPPT. Es importante seleccionar el tipo correcto de acuerdo con las características del sistema.
- **Protección contra sobrecarga:** El regulador de carga debe ofrecer protección contra la sobrecarga, lo que ayuda a garantizar la vida útil de la batería.
- **Temperatura de funcionamiento:** Es importante seleccionar un regulador de carga con una temperatura de funcionamiento adecuada para el clima y las condiciones ambientales donde se instalará.

- **Pantalla y monitorización:** Algunos reguladores de carga ofrecen pantallas de monitorización y otras características que permiten monitorizar el sistema y realizar ajustes según sea necesario.

Es importante tener en cuenta los detalles específicos de la instalación solar y los requisitos individuales del sistema al seleccionar un regulador de carga. [18]

## **2.24. Inversores**

Los inversores eléctricos son dispositivos electrónicos que convierten la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) o viceversa. Los inversores son unidades basadas en microprocesadores que se utilizan para transformar corriente continua en corriente alterna que se pueden utilizar para conectar un sistema fotovoltaico (PV) a la red pública. [22]

Dichos dispositivos, han evolucionado a lo largo de la historia, desde los primeros modelos que producían formas de onda cuadradas o modificadas, hasta los modernos inversores de onda senoidal pura, de alta frecuencia, alta capacidad de potencia, mayor eficiencia y funciones avanzadas en su eficiencia, confiabilidad y capacidades. Aquí hay algunos antecedentes importantes respecto a ellos:

1. **Inversores de onda senoidal:** Los primeros inversores eléctricos producían una forma de onda de salida cuadrada o modificada, que no era adecuada para la mayoría de las aplicaciones sensibles a la calidad de la energía, como electrodomésticos, equipos electrónicos y motores. Con el tiempo, se desarrollaron inversores capaces de producir una onda senoidal pura, que es la forma de onda más similar a la corriente eléctrica suministrada por la red eléctrica y que es compatible con la mayoría de los dispositivos eléctricos.
2. **Inversores de baja frecuencia y alta frecuencia:** Los inversores de baja frecuencia eran los más comunes en las primeras aplicaciones, pero eran voluminosos y costosos. Con el avance de la tecnología, se desarrollaron los inversores de alta frecuencia, que son más compactos, livianos y eficientes en términos de tamaño y costo, lo que permitió una mayor aplicación en una variedad de sistemas.
3. **Inversores con mayor capacidad de potencia:** A medida que la demanda de sistemas de energía más grandes y potentes aumentaba, los inversores eléctricos evolucionaron para ofrecer una mayor capacidad de potencia. Hoy en día, hay inversores que pueden manejar desde pequeñas cargas domésticas hasta grandes instalaciones industriales y comerciales.
4. **Inversores con mayor eficiencia:** La eficiencia es un factor importante en los inversores eléctricos, ya que afecta la cantidad de energía que se pierde durante el proceso de

conversión de corriente. Con el tiempo, se han desarrollado inversores con mayor eficiencia, lo que ha permitido un mejor aprovechamiento de la energía y una reducción de pérdidas.

5. Inversores con funciones avanzadas: Los inversores modernos también ofrecen una variedad de funciones avanzadas, como monitoreo en tiempo real, capacidades de gestión de energía, interfaces de comunicación, integración con sistemas de almacenamiento de energía y capacidades de control remoto, entre otros.

#### **2.24.1. Tipos de inversores**

Son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones, desde sistemas fotovoltaicos aislados, hasta sistemas de energía renovable conectados a la red eléctrica, sistemas de respaldo de energía, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS, por sus siglas en inglés), sistemas de tracción eléctrica, entre otros.

Estos dispositivos electrónicos convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) utilizable para alimentar dispositivos eléctricos y sistemas de energía en hogares, empresas y comunidades aisladas de la red eléctrica.

El convertidor o inversor DC/AC, que tales son sus denominaciones generalizadas, es el medio de acercamiento de las energías renovables al mundo doméstico, comercial e industrial y recientemente al autoconsumo. La energía fotovoltaica con suministro en corriente continua tenía el vuelo limitado a las caravanas y al mundo rural de escasa necesidad, como la iluminación y la atención a pequeños electrodomésticos. En síntesis, el convertidor es un equipo alimentado con la corriente continua de los módulos solares que produce corriente alterna con la tensión y la frecuencia que requiera cada zona. La pureza de la corriente alterna producida, la potencia y las prestaciones auxiliares los diferencian. [23]

Las condiciones indicadas no son la única diferencia entre convertidores comerciales; la fundamental se encuentra en su aplicación. Se cuenta con dos grupos, como detalla la tabla 1. [23]

Tipo de Inversor	Aplicación
<b>Para instalaciones aisladas</b>	Instalaciones sin relación con las redes públicas de suministro eléctrico. La energía producida es sólo para el consumo interno y totalmente dependiente de la radiación solar.
<b>Para instalaciones con conexión a red</b>	Instalaciones cuya energía producida se dispone en paralelo con las redes públicas para verter en ellas la excedente o tomar ante defecto, por ejemplo, en el periodo nocturno y con las baterías insuficientes para satisfacer la demanda.

Tabla 7. Tipos de inversores

El convertidor de cualquiera de las instalaciones presentadas puede recibir la corriente continua de entrada directamente de los módulos fotovoltaicos o de las baterías, aunque siempre a través del regulador para evitar su descarga completa; como es conocido, la situación daría lugar a la aparición del efecto memoria que las caracteriza. También, el convertidor y el regulador pueden formar un único cuerpo. [23]

El nudo común de los dos tipos de convertidores del cuadro anterior corresponde a los circuitos de generación de la corriente alterna. La diferencia, sin embargo, es el modo que tienen de proporcionarla para el consumo. De modo general, se pueden considerar formados por los tres bloques que representa la figura 1. [23]

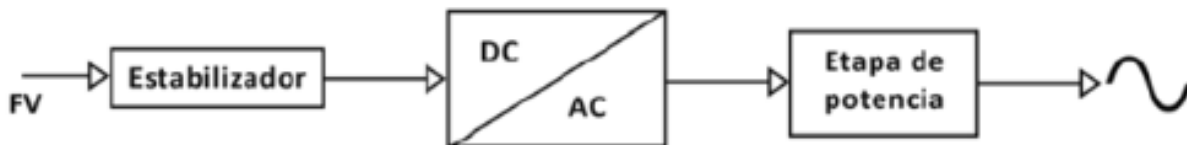


Fig. 15. Configuración común de los inversores

### 2.24.2. Estabilizador

El estabilizador, se ocupa de mantener constante el voltaje de la salida para la conversión DC/AC frente a las posibles alteraciones de la entrada, especialmente si el suministro procede directamente de los módulos fotovoltaicos. Es el compromiso para mantener inalterable el valor de la tensión alterna de salida para el suministro. Comúnmente estabiliza con la tecnología de las fuentes conmutadas; modificando la anchura de los impulsos de conmutación (PWM) con los cambios.

La base del circuito convertidor es un sistema de conmutación con impulsos modulados en anchura para que, al integrarlos en el transformador de salida, el último bloque del equipo, se produzcan ondas sinusoidales. Se divide en dos etapas: el generador de impulsos y el conmutador mediante transistores de potencia.

El generador, de configuración digital, produce impulsos de condición bipolar modulados en anchura a la frecuencia de red deseada (50 Hz o 60 Hz). Son de anchura creciente desde el paso por cero hasta el máximo de cada semiciclo y decreciente hasta alcanzar de nuevo el paso por cero (180°), momento en que se invierte la polaridad, como muestra la figura 2. [23]

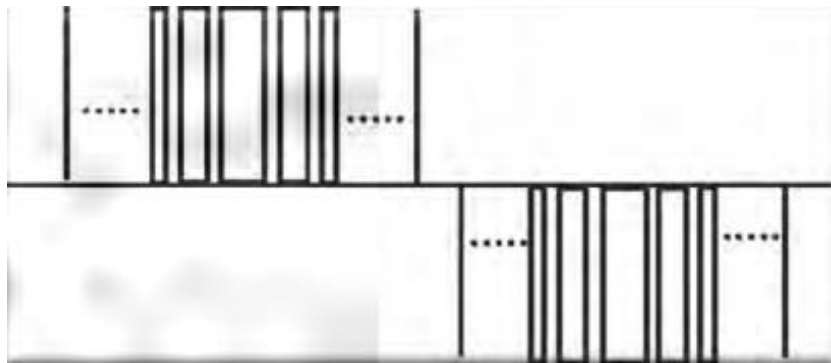


Fig. 16. Impulsos a la frecuencia de red empleados para la conmutación y generación de la corriente alterna

Los impulsos tienen como destino un cuadrante de transistores operando en conmutación. La respuesta son impulsos de una elevada corriente que excitan el transformador de salida. La figura 3 muestra el circuito. [23]

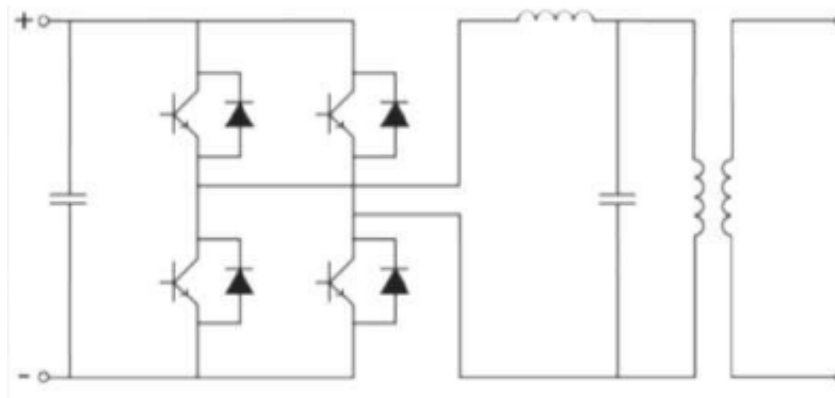


Fig. 17. Circuito de conmutación

### 2.24.3. Etapa de salida

La etapa de salida marca la diferencia entre dos tipos de convertidores: los semi senoidales u onda cuadrada y los sinusoidales. Los primeros, sin aplicación posible en las instalaciones de autoconsumo, producen la corriente alterna de salida mediante los impulsos rectangulares que muestra la figura 4. Al carecer de transformador de salida lo hace económico, pero no puede alimentar cargas de condición reactiva, como equipos que contengan transformadores o motores. Los segundos incorporan el transformador siguiendo dos motivos; la integración de los impulsos para que surjan en el secundario con forma sinusoidal y conseguir el aislamiento galvánico, condición imprescindible en las instalaciones con conexión a red. La figura 5 muestra el proceso de integración, con el resultado de la salida de ondas senoidales. [23]

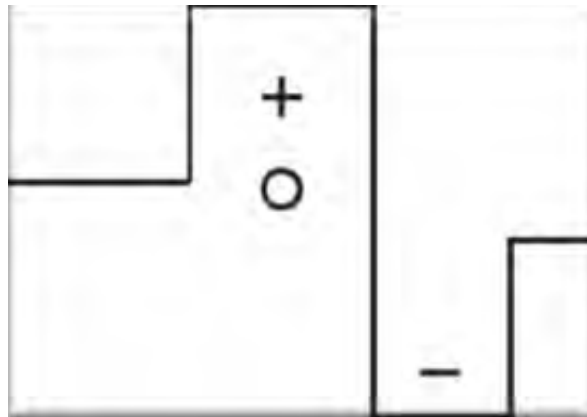


Fig. 18. Respuesta de un inversor semi senoidal

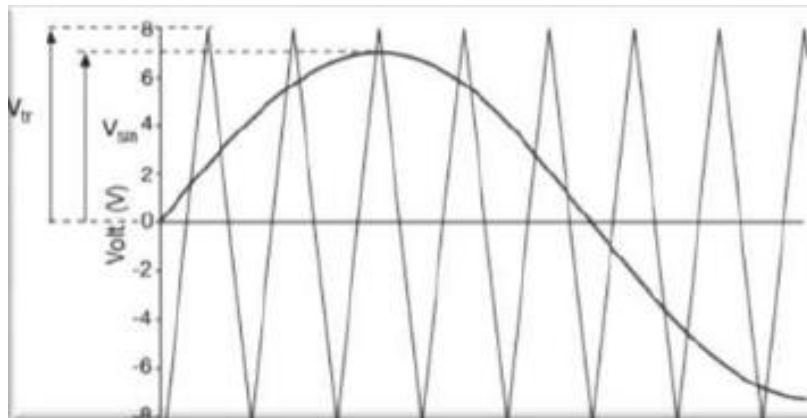


Fig. 19. Respuesta de un inversor senoidal

#### **2.24.4. Convertidores para instalaciones aisladas**

Por razones obvias, las instalaciones aisladas carecen de unión con las redes públicas. Son sistemas solares de suministro autónomo, con consumo instantáneo o diferido (acumulado). Esta condición facilita el empleo, siempre que lo admita la carga objeto del consumo, de convertidores de la versión económica; los semi senoidales, y evita la obligación de contar con aislamiento galvánico. Los convertidores para esta aplicación suministran la corriente alterna con solo aplicar la continua de entrada, a diferencia de los de conexión a red, que necesitan la sincronización de fase previa entre las dos líneas. [23]

#### **2.24.5. Convertidores para conexión a red**

En la conexión a red, la base de las instalaciones de autoconsumo, los convertidores cumplen con los dos requisitos técnicos impuestos anunciados en los apartados anteriores; su salida se encuentra aislada galvánicamente mediante un transformador y su fase coincide en todo momento con la de las redes a las que se unen. La primera condición la cumple el transformador, interno en las instalaciones reducidas y externo en las de potencia. La segunda mediante sincronización de sus etapas de potencia durante el paso por cero de los semiciclos de la energía de la red externa. [23]

La primera consecuencia, en ocasiones sorpresa para el instalador, es que, sin la conexión a la red para el propósito indicado, estos convertidores no suministran energía. Es la condición de unión de dos líneas de corriente alterna: la sincronización previa de sus fases. [23]

#### **2.24.6. Convertidores duales**

El autoconsumo exige la bidireccionalidad del contador dispuesto en la llamada frontera, la línea de salida para conexión con la red y la entrada de ésta para el suministro ocasional, y del convertidor DC/AC para las operaciones en los dos sentidos que caracterizan las instalaciones de autoconsumo: vertido en la red y de suministro de ella cuando el generador fotovoltaico o las baterías se muestren insuficiente. Los convertidores para esta aplicación son dobles o duales, aunque no siempre se presentan comercialmente con este añadido sino simplemente “para autoconsumo”. La figura 7 muestra la disposición que adoptan, que se considera suficientemente explicativa por sí misma.



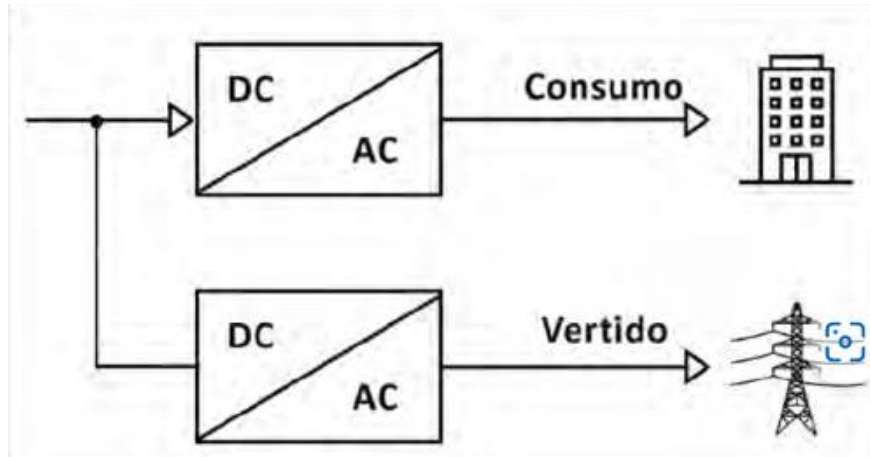


Fig. 20. Configuración básica del convertidor dual

### 2.24.7. Especificaciones técnicas

Como los restantes equipos descritos anteriormente con los que se configuran las instalaciones solares, el inversor con o sin conexión a la red se define por un conjunto de especificaciones técnicas, siendo las más importantes las tensiones de entrada y salida y la potencia suministrada.

En la tabla 7 se describen. [23]

Parámetro	Descripción
<b>Datos de entrada</b>	
<b>Potencia máxima de módulos</b>	Dato referido a la potencia máxima de pico (Wp) del conjunto de módulos que se puede conectar al inversor.
<b>Rango de tensión</b>	Margen de la tensión de entrada al inversor. En este dato también se puede indicar la máxima tensión de entrada en vacío.
<b>Corriente máxima</b>	Dato de la corriente máxima que puede circular por el circuito de entrada.
<b>Datos de salida</b>	
<b>Tensión nominal</b>	Valor de la tensión de salida, que pueden ser de forma monofásica de 110 V o 230 V o trifásica de 230 V o 400 V.
<b>Frecuencia</b>	Valor de la frecuencia de la corriente alterna de salida del inversor.

<b>Potencia nominal</b>	Valor de la potencia a régimen continuo que puede suministrar el inversor.
<b>Distorsión de onda</b>	Dato referido a la distorsión en (%) que presentan las ondas senoidales de salida.
<b>Factor de potencia</b>	Dato referido al factor de potencia ( $\cos \varnothing$ ) que presenta el equipo.
<b>Datos generales</b>	
<b>Eficacia</b>	Dato referido al rendimiento del inversor dado en (%).
<b>Presencia de datos</b>	Información sobre los medios que aporta el equipo para ofrecer datos referidos a las diferentes situaciones que puede presentar el inversor durante su funcionamiento. Tales modos son generalmente la incorporación de led o dígitos ocales y un puerto serie destinado a un equipo informático externo.

Tabla 8. Especificaciones generales de los inversores

# Capítulo 3

## Metodología de la investigación

### **3.1. ¿Qué es la investigación?**

Como parte de las actividades fundamentales para el desarrollo de la ciencia aparece el concepto “investigar”, que significa: indagar, averiguar y/o buscar. Si profundizamos en la definición dada por estos autores, encontramos que indagar a su vez significa analizar, examinar, preguntar y/o demandar; averiguar representa consultar, curiosear y/o ahondar; mientras que buscar simboliza rebuscar, escudriñar y/o escrutar. Así, investigar conlleva un proceso activa para tratar de conocer y comprender cualquier fenómeno sin importar su naturaleza, ya que la acción de investigar nos separa de la pasividad, inercia y/o apatía del investigador, ya sea por ya que la acción de investigar nos separa de la pasividad, inercia y/o por nuestra falta de motivación. Investigar despierta nuestra parte creativa y nos da la oportunidad de aportar y encontrar soluciones y respuestas. [24]

#### **3.1.1. ¿Qué es la investigación científica?**

En el ámbito académico, principalmente en el nivel superior, la investigación es una actividad que debe realizarse de manera sistemática, controlada y crítica. [25] La finalidad y propósito de la investigación científica es:

- Descubrir hechos y/fenómenos.
- Describir los hechos y/o fenómenos.
- Interpretar los hechos y/o fenómenos.
- Establecer las relaciones entre los hechos y/o fenómenos.
- Producir teorías (investigación básica).
- Resolver problemas prácticos (investigación aplicada).

#### **3.1.2. ¿Por qué es importante investigar?**

Después de revisar el significado y las acciones relacionadas con investigar, surge de manera casi automática la pregunta: ¿por qué la importancia de investigar?, ¿qué obtenemos como individuos o como país si nos comprometemos con la producción del conocimiento?

Ante estos cuestionamientos, algunos autores, han señalado que tanto la creación como la divulgación del conocimiento son factores indispensables en el sistema educativo y en las instituciones de educación superior, pues esto permitirá contar con ciudadanos mejor capacitados para la apropiación e interpretación del conocimiento. Este autor también advierte que los individuos, las organizaciones y las naciones que no inviertan en educación ni en investigación se quedarán relegados, dependientes y marginados. Al respecto, otros autores

afirman que el conocimiento es el fundamento para edificar un país con capacidad para enfrentar los problemas y los retos del futuro. [25]

Además de los elementos imprescindibles ya señalados que se deben desarrollar en una institución de educación superior en favor de una mejor sociedad, se agrega lo siguiente:

- Desarrollar procesos de pensamiento en las personas.
- Promover la comprensión básica del mundo.
- Estimular la formación de instituciones e individuos flexibles.
- Capacitar para la autonomía.
- Estimular el interés por el conocimiento.
- Promover el sentido de la solidaridad y la individualidad.
- Practicar y promover el sentido de la responsabilidad.

### **3.2. Metodología**

La palabra metodología se compone de dos vocablos: método (camino a seguir) y logos (estudio, tratado racional), por lo que podemos definirla como el estudio de los métodos o caminos a seguir en una investigación. Si bien esto significa en su sentido etimológico, la metodología puede ser entendida de dos formas:

Estudio de los procedimientos o técnicas que permitirán alcanzar el conocimiento de un objeto o fenómeno (natural y/o social). En pocas palabras podemos decir que es el estudio de los métodos y técnicas de investigación.

Aplicación sistemática de los pasos propios de un método específico para lograr determinado fin.

La metodología de la investigación se refiere al estudio sistemático de los métodos que se utilicen en relación con los fines y metas que se plantean en la investigación científica.

Existe una clara diferencia entre lo que es método y metodología, y que designan dos cosas diferentes. La palabra método deriva de dos voces griegas: meta (hacia, a través de) y odós (camino), por lo que su definición etimológica puede ser: camino a través del cual se alcanza un fin. En términos formales, el método de investigación es un procedimiento adecuado para obtener conocimientos ciertos sobre un determinado tema. Existe una amplia variedad de ellos, de acuerdo con los diferentes ámbitos de la investigación científica y a las peculiaridades de sus objetos de estudio. Sin embargo, todos deben cumplir con ciertas reglas, sin importar que cada investigación tenga diferentes propósitos. [26]

### **3.2.1. Tipo de investigación**

Según Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R. (2004) existe una clasificación generalmente aceptada de cuatro tipos principales de investigación:

Investigación descriptiva: este tipo de investigación busca describir y analizar un fenómeno o situación de manera detallada. Por lo general, se utiliza para entender las características de un grupo o población en particular y puede incluir encuestas, observación y análisis de datos.

Investigación correccional: este tipo de investigación se enfoca en encontrar relaciones entre variables. Busca establecer si existe una correlación estadística entre dos o más variables sin necesariamente establecer una relación causa-efecto.

Investigación exploratoria: la investigación exploratoria es una herramienta útil para obtener una comprensión preliminar de un tema o fenómeno y para generar hipótesis y teorías que puedan ser evaluadas en investigaciones posteriores.

Investigación explicativa: este tipo de investigación busca explicar la relación causal entre variables. Por lo general, se realiza cuando se desea entender por qué ocurre un fenómeno o situación en particular y se utiliza para desarrollar teorías y modelos explicativos. La investigación explicativa a menudo implica la combinación de múltiples métodos de investigación.

### **3.2.2. Metodología de la investigación escogida**

Por lo tanto, la investigación será, exploratoria debido a que es adecuada cuando se está investigando un fenómeno o situación por primera vez o cuando se sabe poco acerca del tema en cuestión. La investigación exploratoria busca obtener información preliminar para comprender mejor el fenómeno en estudio, identificar variables importantes. De esta manera podremos hacer un estudio de los lúmenes necesarios para poder iluminar nuestra área determinada.

### **3.3. Fuentes de datos**

Los datos que se utilizan en esta investigación provienen de fuentes primarias que fueron resultados de estudios cuantitativos como los programas: DIALux, AutoCAD, Sketchup, entre otras aplicaciones desarrolladas para el uso profesional.

# Capítulo 4

## Diseño

#### 4.1. Cálculo y dimensionamiento de las luminarias

##### 4.1.1. Área total, flujo y eficiencia luminosos

Consideraremos el área total, la cual será a iluminar. Para este caso, el valor del área la podemos obtener ya sea de manera manual o utilizando en este caso la herramienta de Área en AutoCAD.

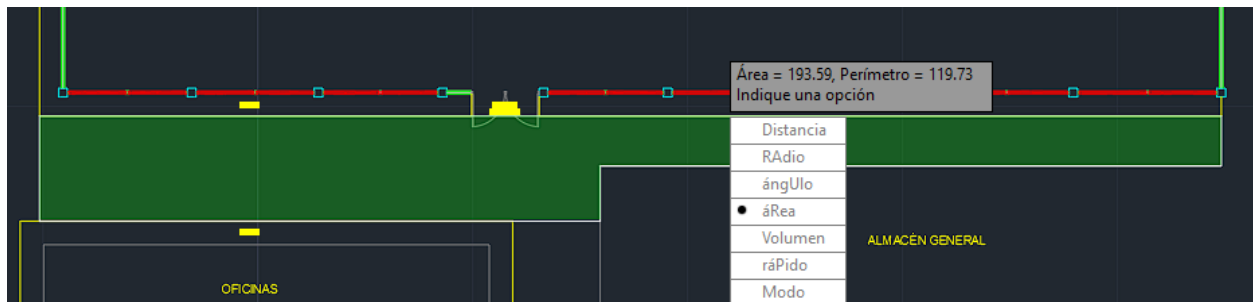


Fig. 21. Valor del área de estudio utilizando AutoCAD

Utilizando la fórmula de la iluminancia, sabemos que el flujo luminoso es directamente proporcional al área o superficie.

$$E = \frac{\phi}{S}$$

Y se necesita conocer el valor del flujo luminoso, para así poder determinar los lúmenes necesarios a utilizar para la elección de la luminaria o el aproximado a este valor.

Sabiendo también el valor de la iluminancia, por ende:

“El Art. 67 de Alumbrado Público establece niveles de Iluminancia mínimos para tener en cuenta: [8]

- 15 a 20 lux para vías de reparto o acceso.”

Nota: al ser una vía de circulación de personal, vehículos, abierta a la comunidad. El valor de la iluminancia se considerará como vía de reparto o acceso, tomando un valor promedio de iluminancia de 17.5 lux.

Flujo luminoso [ $\phi$ ]	Iluminancia [ $E$ ]	Superficie [ $m^2$ ]
?	17.5 lux	193.59 $m^2$

Despejando entonces la formula:

$$\phi = E \cdot S$$

Teniendo así el valor del flujo luminoso,  $\phi = 3387.8 \text{ lm}$



Se debe de tomar en cuenta que, mientras el valor del flujo luminoso sea menor, mayor será la cantidad de luminarias.

Se considerarán los valores de eficiencia luminosa, consultando estos valores de acuerdo con la siguiente tabla:

El Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 29.02.01:21) establece los siguientes valores de eficiencia lumínica para lámparas y luminarias:

Tipo de producto	Eficiencia lumínica mínima	
	Etapa I (Entrada en vigor del RTS)	Etapa II (Dos años posterior a la entrada en vigor)
<b>Luminaria LED para carreteras conectadas a tensión de red.</b>	≥ 110 lm/w	≥ 120 lm/w
<b>Luminaria LED solar integrada para alumbrado exterior.</b>	≥ 120 lm/w	≥ 130 lm/w

Tabla 9. Eficiencia lumínica mínima de lámparas y luminarias [9, p. 17]

Tomando los valores de eficiencia lumínica aplicada a una Luminaria LED solar integrada para alumbrado exterior, por la similitud al tipo de sistema que se implementara en el proyecto.

#### 4.1.2. Cantidad de luminarias

La altura de montaje es aproximadamente de 4.9 metros, realizando una relación con el valor del ancho de la calle o superficie de trabajo proporcional a la altura de montaje, se tiene:

$$\frac{SW}{MH} \rightarrow \frac{4.86 + 2.31}{4.9} = 1.46$$

Donde:

- SW: Ancho de la calle o superficie.
- MH: Altura de montaje.

Nota: Los valores de SW son tomados desde dos puntos distintos, la primera tomada desde las banquetas y la segunda del pasillo entre el taller y el almacén general, ver figura 22.

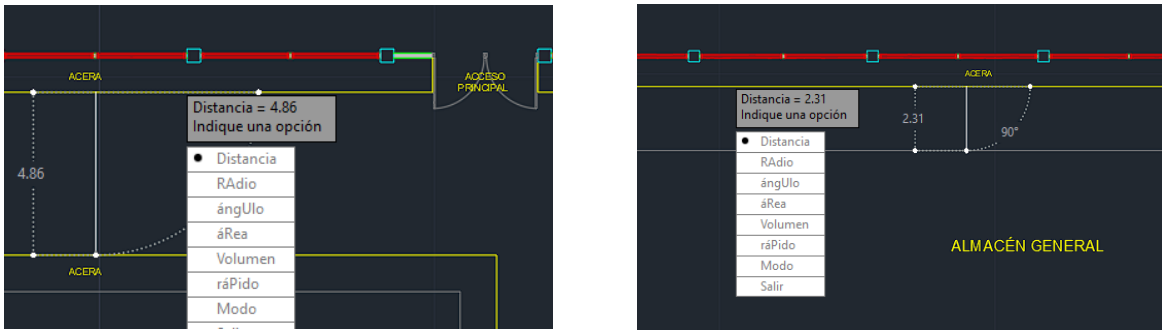


Fig. 22. Der. punto de medida entre banquetas, izq. punto de medida entre banqueta y almacén general

Con el dato de la relación obtenido, podemos clasificar el tipo de distribución de la luminaria, citada de la siguiente tabla:

Tipo	Punto de candela medio máximo	Patrón de distribución de luz	Aplicación	Ejemplo
Tipo II	Cae entre 1 MH y 1,75 MH en el lado de la calle de la posición de la luminaria	Patrón asimétrico estrecho	Pasarelas, calzadas y ciclovías	

Tabla 10. Categorías de distribución de luz lateral [27]

Teniendo el tipo de luminaria, esta puede clasificarse también por el tipo de alcance, en este caso siendo de alcance medio. Los de alcance medio pueden ser separadas 4 veces respecto a la altura de montaje, considerando esto, tenemos:

$$4 \times 4.9 \text{ metros} = 19.6 \text{ metros.}$$

Teniendo este valor y usando la longitud total del área de trabajo, que en este caso sería el largo total del taller mecánico, tenemos:

$$\frac{54.31 \text{ m}}{19.6 \text{ m}} \rightarrow 2.77$$

Este dato, siendo la cantidad de luminarias que podemos implementar en el área de trabajo. Usando aproximadamente 3 luminarias.

### 4.1.3. Simulación con DIALux Evo

Para tener una idea acerca de la visualización de las luminarias en el área se hará uso del software DIALux Evo, que permite diseñar, calcular y visualizar la cantidad lumínica en zonas ya sean interiores o exteriores. [28]

No sin antes elegir el tipo de luminaria que se acerque o que cumpla con los valores calculados y que asimile los valores que la norma RTS 29.02.01:21 da con respecto a la eficiencia luminosa. Así como conocer la potencia nominal de la misma, realizando un cociente-relación con respecto a la eficiencia luminosa que ya conocemos:

$$\text{Eficiencia luminosa } \left( \frac{\text{lm}}{\text{w}} \right) = \frac{\text{Flujo luminoso (lm)}}{\text{Potencia consumida (w)}}$$
$$\text{Potencia consumida (w)} = \frac{\text{Flujo luminoso (lm)}}{\text{Eficiencia Luminosa (lm/w)}} \rightarrow \frac{3387.8 \text{ lm}}{130 \text{ lm/w}} = 26.06 \text{ w}$$

Dentro de la misma librería del programa se pueden encontrar detalles acerca de las diferentes luminarias que los distribuidores autorizados por DIALux comparten acerca de sus productos.

Seleccionando así un reflector LED que tiene los siguientes parámetros:

- Potencia Nominal [W] = 30W
- Flujo Luminoso [ $\phi$ ] = 3900 lm
- Eficiencia Luminosa [ $\epsilon$ ] = 130 lm/W

Si se comparan los valores del flujo luminoso con respecto al calculado, el valor que proporciona la luminaria se aproxima a la calculada. Pero mientras más flujo luminoso se tenga la cantidad de luminarias necesarias se reduce.

También consideramos el valor de la eficiencia luminosa, este valor puede variar al momento de elegir el reflector en físico para su instalación. Pero nos ayuda a tener una idea y tomar como referencia los valores que la RTS 29.02.01:21 menciona que debe de cumplir el tipo de alumbrado que queremos implementar.

A la vez se considera el tipo de distribución de luz del reflector (a) con la distribución de una luminaria tipo cobra (b), según las figuras en la tabla 10, la distribución **a** muestra un haz de luz casi simétrico. Favoreciendo al área que se desea cubrir.

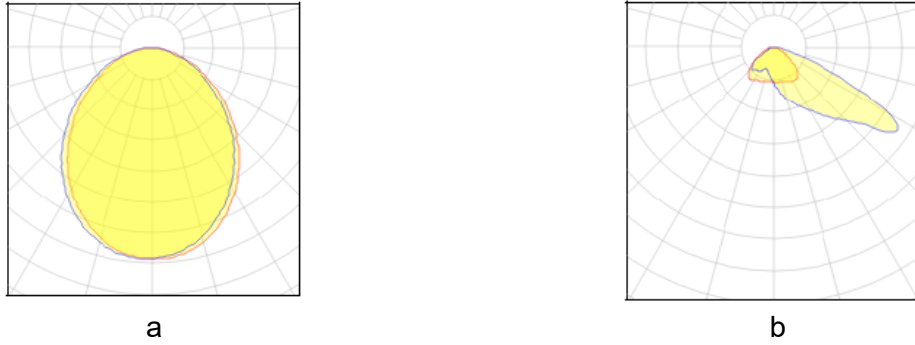


Tabla 11. Distribución de haz de luz. (a) Reflector LED, (b) Alumbrado público tipo Cobra LED

Considerando esto, en el programa se establece la distribución de estas mismas y se realiza el cálculo de la superficie a estudiar.

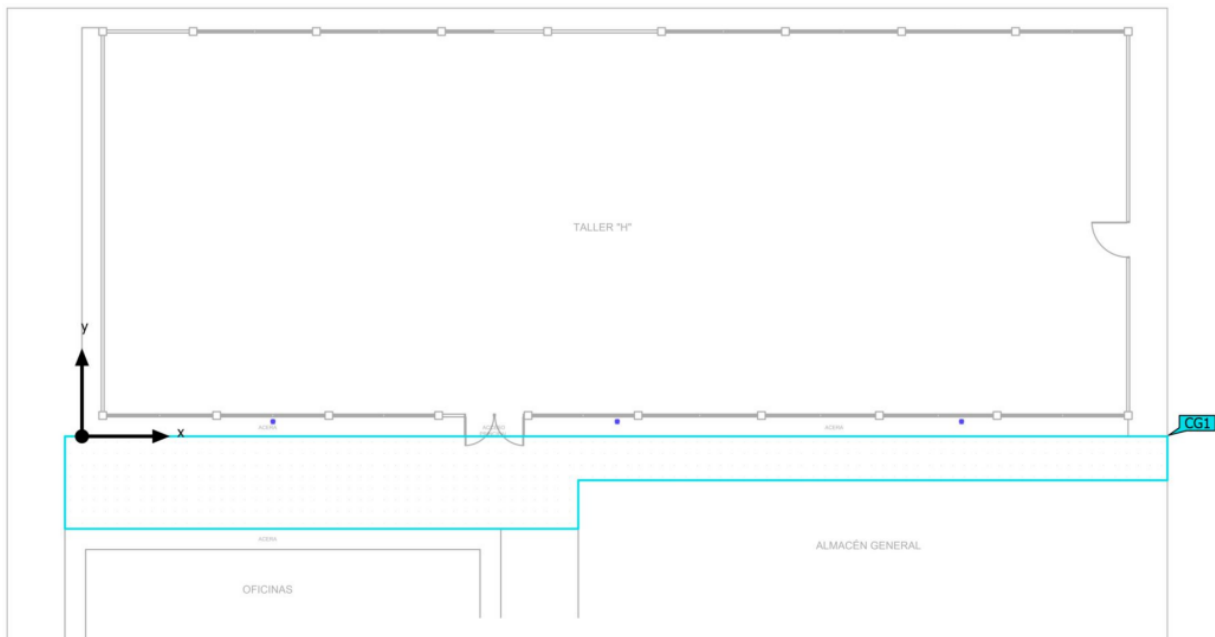


Fig. 23. Asignación del área total en DIALux para el respectivo cálculo y simulación

En DIALux es necesario realizar el levantamiento tanto de los edificios involucrados, así como las banquetas y calles que involucran al área de estudio.

Como se ve en la figura 23, lo marcado en color celeste e identificado como CG1 indica el área asignada de estudio en DIALux, es necesario el asignar un área de estudio para que, ya distribuido la cantidad de luminarias, el programa nos proporcione los valores de la Iluminancia, así como la simulación de la superficie a iluminar.

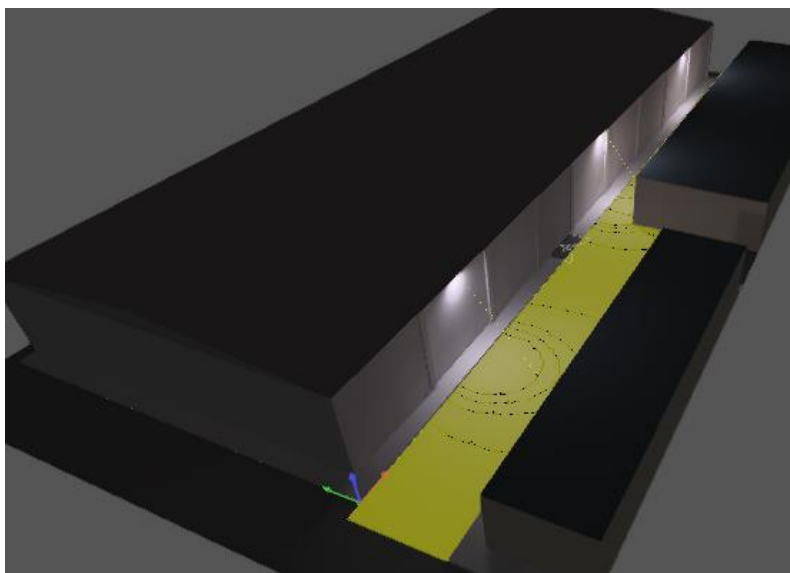


Fig. 24. Levantamiento en 3D, área a calcular (amarillo) y simulación de iluminación en DIALux Evo

Realizado los cálculos de la superficie de estudio, obtenemos:

Propiedades	$\bar{E}$	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$g_1$	$g_2$	Índice
Área de acceso Iluminancia perpendicular Altura: 0.000 m	17.7 lx	1.10 lx	57.5 lx	0.062	0.019	CG1

Tabla 12. Datos de superficie de cálculo en DIALux

Teniendo una Iluminancia media  $[\bar{E}]$  de 17.7 lx, si realizamos una comparación con el valor de iluminancia media que sacamos de los valores mínimos y máximos que el Art. 67 nos proporciona para vías de reparto o acceso, nos hemos aproximado demasiado al valor.

Nota: estos cálculos son respectivamente teóricos, ya en lo práctico podemos tener algo de variación con respecto a los resultados que se esperarían.

#### 4.1.4. Distancia estimada de instalación para cada reflector

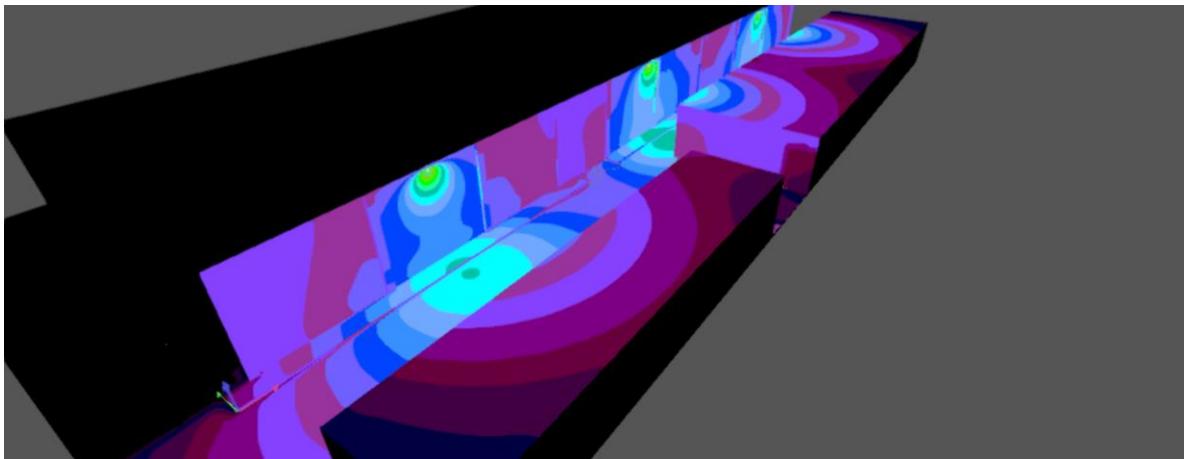
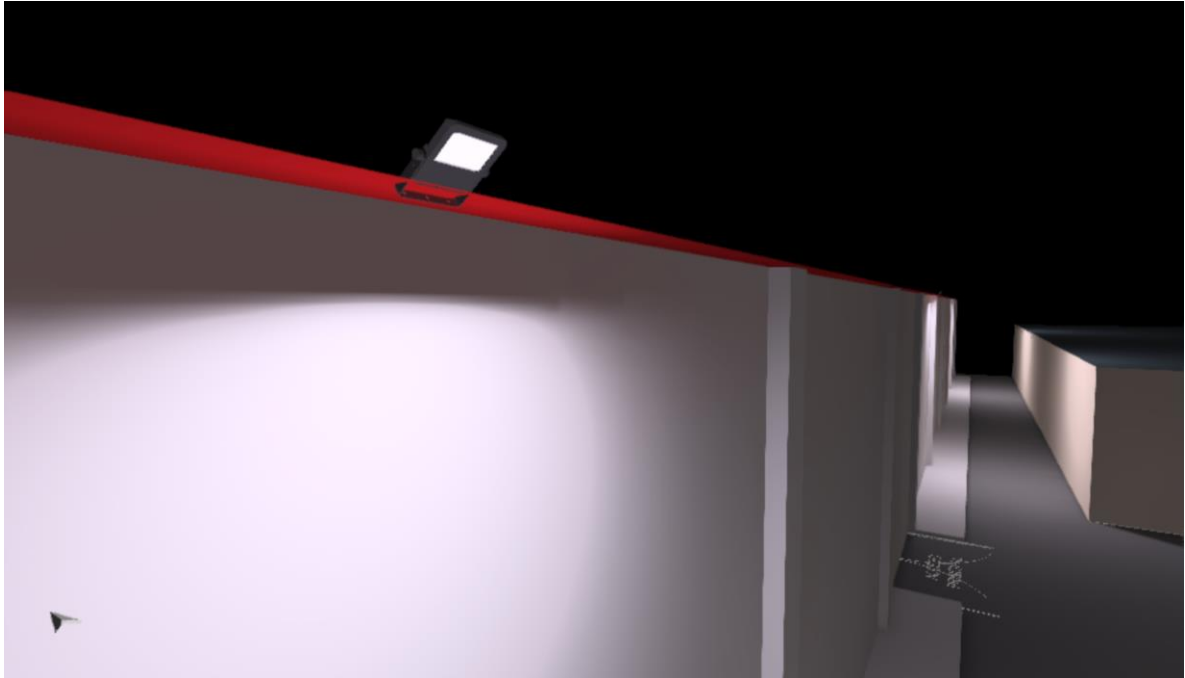
Cada reflector tendrá las siguientes distancia, a partir de lado Este del taller.

<b>Reflector 1</b>	10.08
<b>Reflector 2</b>	18.42
<b>Reflector 3</b>	18.92

Tabla 13. Distancia entre reflectores para su instalación, medida en metros

**4.1.5. Vistas del modelo 3D y simulación de iluminación**





De esta simulación, el programa nos proporciona los siguiente datos:

$\Phi_{total}$ 11700 lm	$P_{total}$ 90.0 W	Rendimiento lumínico 130.0 lm/W
----------------------------	-----------------------	------------------------------------

Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi$	Rendimiento lumínico
3	Oppl Lighting	70900007280 0	LEDflood-E3 Re144-30W-840-BL	30.0 W	3900 lm	130.0 lm/W

Los valores de los reflectores estarán sujetos a cambios según el modelo comercial adquirido.

## 4.2. Diseño de la instalación fotovoltaica aislada

### 4.2.1. Consumo máximo total

Para poder dimensionar el sistema aislado, es necesario conocer el consumo total respecto al tiempo estimado en el que las cargas estarán trabajando. Entonces definimos la siguiente tabla:

Carga	Cantidad	Potencia [W]	H/día	Consumo Máximo [Wh/día]
Reflectores	3	30	12	1080

Tabla 14. Consumo total obtenido de las cargas del sistema

Para definir la tensión del sistema, nos guiaremos por medio de la siguiente tabla, el valor se toma en función de la potencia de los equipos. Para este caso teniendo una potencia total de 90W:

#### Referencia de elección

Potencia demandada por el sistema	Tensión de trabajo SFA
< 1500 W	12 V
1500 W < Potencia < 5000 W	24 - 48 V
Potencia > 5000 Wp	> 48 V

Tabla 15. Tensión a elección según la potencia [29]

La tensión para nuestro sistema será entonces de 12V, conociendo esto procedemos al cálculo de la energía necesaria del sistema. De la siguiente manera, tenemos:

$$E = \frac{CT}{V} \left[ \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \right] \rightarrow \frac{1080 \text{ Wh/día}}{12 \text{ V}} = 90 \text{ Ah/día}$$

Ec. 17. Fórmula de la energía necesaria

El cálculo del rendimiento global para este tipo de sistemas aislados. Se puede definir como la cantidad de pérdidas por efectos joule, inversor, baterías y acumulador. [29]



Expresado por:

$$R_G = (1 - k_b - k_c - k_v) \left[ 1 - \frac{k_a * N}{P_d} \right]$$

Ec. 18. Fórmula del rendimiento global

Donde:

- $K_a$ , coeficiente de autodescarga de la batería. Siendo su valor  $5 \times 10^{-3}$ /día para baterías estacionarias de Pb habituales en los sistemas solares.
- $K_b$ , coeficiente de perdidas por rendimiento de acumulador. Su valor está comprendido entre un 5 y 10%.
- $K_c$ , coeficiente de perdidas supuestas al inversor. Su valor para nuestro caso será 0.
- $K_v$ , coeficiente por perdidas de efecto Joule. Agrupa cualquier perdida por los componentes del sistema, su valor es del 10%.
- $N$ , días de autonomía del sistema. Para nuestro sistema su autonomía será de 4 días.
- $P_b$ , Profundidad de descarga admisible. Dato obtenido de la hoja del fabricante de la batería a usar. Para la batería de plomo acido de ciclo profundo, su  $P_b$  es del 60%.

Sustituyendo valores, obtenemos el valor del rendimiento global,  $R_G = 0.84$ .

Con este dato, podemos calcular la energía total necesaria del sistema, dada por la siguiente fórmula:

$$E_T = \frac{E}{R_G} \rightarrow \frac{90 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}}{0.84} = 106.77 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

Ec. 19. Fórmula de la energía total necesaria

Con el valor de la energía total necesaria, podemos obtener el dato de la cantidad de módulos solares para nuestro sistema. Pero es necesario el conocer las fichas técnicas del módulo solar, así como conocer el valor de las Horas Solar Pico [HSP] de la superficie en donde el sistema estará montado.

#### 4.2.2. Datos de la irradiación en el país

Usando la base de datos de PVGIS para poder tener los datos promedio de irradiación solar en el país, más específico en la zona en donde nuestro sistema estaría montado, tenemos:

Irradiación global horizontal			
Año	Mes	Kwh/m2	HSP
2020	Enero	165.78	5.35
2020	Febrero	177.64	6.13
2020	Marzo	197.63	6.38
2020	Abril	192.68	6.42
2020	Mayo	166.46	5.37
2020	Junio	158.57	5.29
2020	Julio	184.3	6.14
2020	Agosto	170.73	5.51
2020	Septiembre	157.34	5.24
2020	Octubre	146.39	4.72
2020	Noviembre	127.05	4.24
2020	Diciembre	165	5.32

Tabla 16. Datos obtenidos de la base de datos de PVGIS [30]

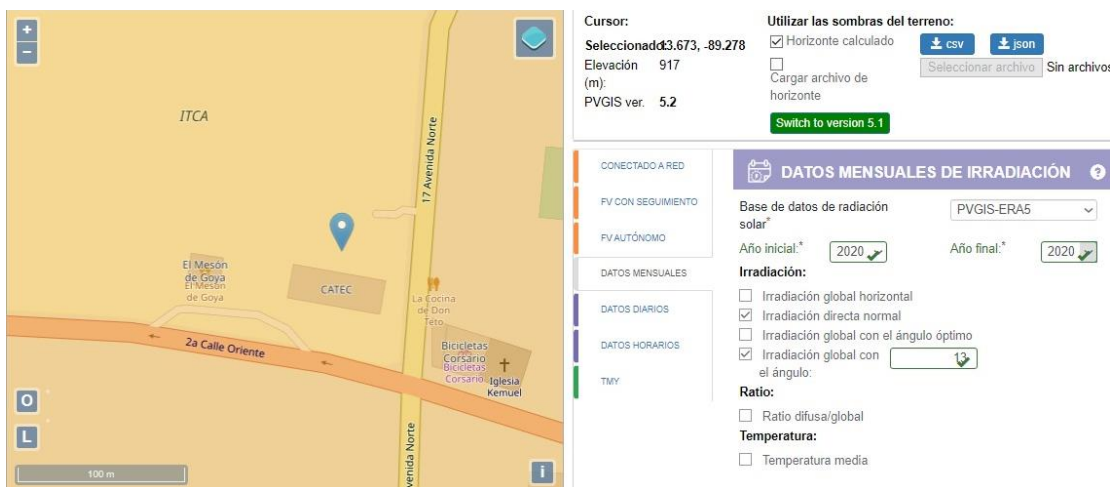


Fig. 25. Fijación de punto en mapa para obtener los valores de irradiación [30]

La base de datos de PVGIS muestra los datos obtenidos de la irradiación solar hasta el año 2020. Datos que nos pueden ser de ayuda para interpretar un promedio de HSP, obteniendo entonces una media de **HSP = 5.51**.

#### 4.2.3. Potencia total del panel [ $P_{wp}$ ]

De manera teórica, podemos encontrar la potencia del panel, debemos de conseguir el valor del consumo total en Wh. Esto realizando el producto con el valor del consumo máximo y los días de autonomía de nuestro sistema:

$$E_d = C_T * N \rightarrow 1080 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 1 \text{ día} = 1080 \text{ Wh}$$

Ec. 20. Fórmula para encontrar la potencia del módulo solar

Así utilizando la siguiente fórmula para encontrar la potencia del módulo solar:

$$P_{wp} = \frac{E_d}{\text{HSP}} \rightarrow 1080 \frac{\text{Wh}}{5.51} = 196.0 \text{ W}$$

Ec. 21. Cociente para calcular el valor de la potencia del panel

Podemos entonces considerar el uso de un panel de 200W, sabiendo esto podemos conocer la energía que nos estaría proporcionando este módulo:

$$E_{\text{panel}} = I_{\text{mpp}} * V_{\text{mpp}} * \text{HSP} * 0.9 \rightarrow 200\text{W} * 5.51 * 0.9 = 991.8 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

Ec. 22. Fórmula de la energía del módulo solar [29]

Este valor sería la energía que nos genera un solo panel al día. Ya teniendo la idea del tipo de panel a elegir, podemos buscar una ficha técnica y realizar el cálculo de la corriente por día que se produciría utilizando los valores de la corriente del módulo por el valor de la hora solar pico.

$$\frac{\text{Ah}}{\text{día}} = I_{\text{módulo}} * \text{HSP} \rightarrow 11.75 \text{ A} * 5.51 = 64.74$$

Ec. 23. Fórmula para los Ah/día respecto a la corriente del módulo solar [30]

El valor de la corriente del módulo solar será la  $I_{SC}$ , según la ficha técnica, para este caso es de 11.75 A utilizando un panel de 200 W. Para más detalles en el apartado de **Anexos, Anexo 2** se tendrá la ficha técnica del módulo solar.

#### 4.2.4. Número de módulos solares

Podemos obtener este dato realizando una división con el valor de la energía total necesaria de nuestro sistema y el valor de los Amperios hora día que calculamos, tenemos:

$$n^{\circ} \text{módulos} = \frac{E_T}{\frac{\text{Ah}}{\text{día}}} \rightarrow \frac{106.77 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}}{64.74 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}} \rightarrow n^{\circ} = 1.65$$

Ec. 24. Fórmula para encontrar la cantidad de módulos solares

Esto nos indica que para cubrir la energía de nuestro consumo máximo en nuestro sistema utilizaríamos 2 paneles de 200 W, pero si cubrimos la demanda del valor obtenido en la Ec. 20, de manera dimensionalmente podemos cubrir la demanda sí se tienen más horas sol en un día.

#### 4.3. Cálculo del acumulador o batería

Para poder conocer la capacidad total de la batería a utilizar se deben de tener los siguientes parámetros:

La capacidad de la batería: energía que vamos a necesitar a lo largo del día, considerando siempre las pérdidas existentes dimensionadas en el rendimiento global.

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{energía total}}{\text{rendimiento global}} \rightarrow \frac{106.77}{0.84} = 126.67 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

Ec. 25. Fórmula para la capacidad de la batería [C] [30]

La capacidad útil de la batería: los Ah/día que es necesario producir diariamente por el producto de la cantidad de días de autonomía.

$$C_u = C * N \rightarrow 126.67 * 1 = 126.67 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

Ec. 26. Fórmula de la capacidad útil de la batería [Cu] [30]

La capacidad nominal: capacidad de la batería que nos ofrece el fabricante.

$$C_n = \frac{C_u}{P_b} \rightarrow \frac{126.67}{0.6} = 211.12 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

Ec. 27. Fórmula de la capacidad nominal de la batería [Cn] [30]

Comercialmente la batería cotizada con el máximo amperaje por hora encontrada fue de 100 Ah. Conociendo esto, podemos realizar la siguiente operación para conocer la cantidad de batería que se utilizaran. Aunque si se analiza el valor de la capacidad nominal ya calculada en la Ec. 27 podemos decir que se implementarían dos baterías.

$$\frac{E_T \times N}{P_b} \rightarrow \frac{106.77 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} * 1 \text{ día}}{0.6} = 177.95 \text{ Ah}$$

Realizando el cociente con el valor obtenido y el valor del Ah de la batería comercial, obtenemos la cantidad de baterías necesarias.

$$N^{\circ}_b = \frac{177.95 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} = 1.78$$

Utilizaremos dos baterías de 100 Ah realizando una arreglo en paralelo para mantener la tensión del sistema que es 12V y 200 Ah como reserva de energía.

#### **4.3.1. Vida útil de la batería**

La vida útil de una batería está dada para ser interpretada con respecto a la cantidad de ciclos que esta tiene con relación a la profundidad de descarga de esta.

De manera que podemos determinar el periodo de vida de la batería que hemos elegido para el sistema. Conociendo que su profundidad de descarga es de un 60%, podemos determinar los ciclos de carga/descarga de está utilizando el siguiente diagrama de ciclos de cargas y descargas:

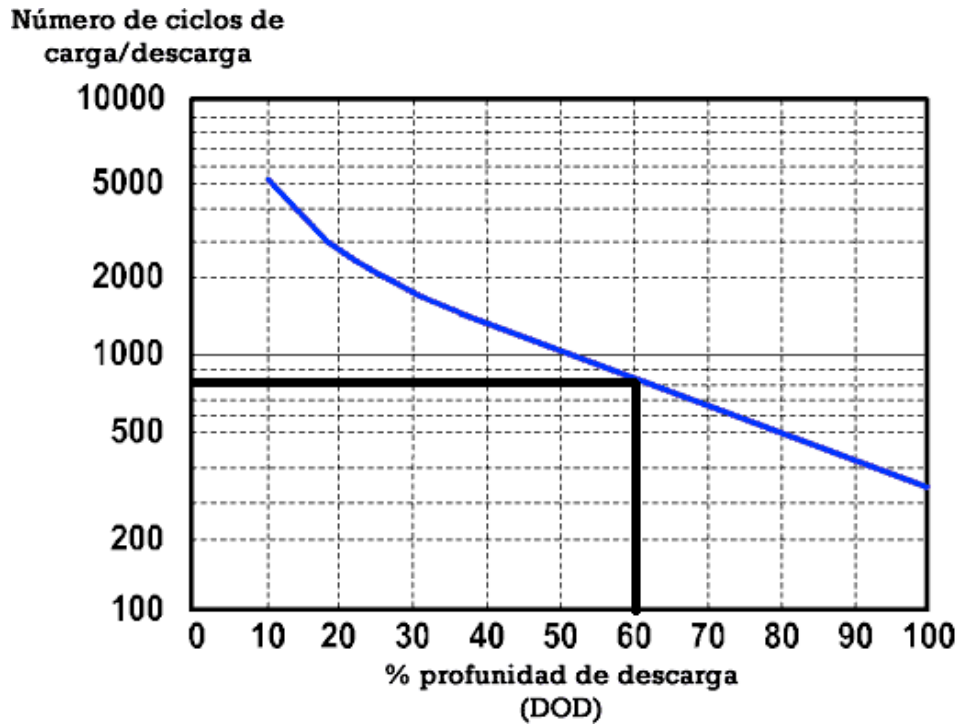


Fig. 26. Diagrama de ciclos para baterías de tipo Plomo-Acido

Tomando como valor aproximado 800 ciclos y realizando un cociente con respecto a los días que tiene un año, obtenemos los años de vida útil:

$$T_{\text{años}} = \frac{C_{\text{carga/descarga}}}{365 \text{ días}} \rightarrow \frac{800}{365} = 2.20 @ 3 \text{ años}$$

Esto considerando que hemos llegado a esa profundidad de descarga en la batería. Por el tipo de aplicación en la que el sistema sería empleado este dato puede variar e incluso con el respectivo mantenimiento a la batería, su vida útil podría incluso extenderse más del planteado.

#### 4.4. Cálculo de protecciones

- Tramo Panel-Regulador

Se debe de conocer el amperaje y la tensión y se calcula por medio de las siguientes formulas:

$$V_{\text{protección}} = V_{\text{oc}} * N^{\circ} \text{ de paneles} * 1.25 \rightarrow 23.31 * 1 * 1.25 = 29.13 \cong 30V$$

$$I_{\text{protección}} = I_{\text{sc}} * 1.25 \rightarrow 11.41 * 1.25 = 14.26 \cong 15A$$

Fórmulas citadas de "SIZING FUSES FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS PER THE NATIONAL ELECTRICAL CODE"

Para este tramo, podemos colocar un fusible con valor de 15A y que su tensión se aproxime a los 30V o este valor se acople a la tensión del mismo fusible. También aplicable en el caso del Breaker.

- Tramo Regulador-Batería

El dimensionamiento para esta protección depende de la corriente máxima que soporte el regulador de carga. Conociendo que el amperaje máximo de nuestro regular que es de 20A, se buscara una protección con este mismo valor de amperaje.

##### 4.4.1. Dimensionamiento de la sección de cable

Para poder dimensionar el calibre del cable a utilizar en los diferentes tramos existentes en un sistema aislado debemos de realizar los cálculos aplicando las siguientes formulas:

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\sigma \cdot \Delta V}$$

Ec. 28. Fórmula para encontrar la sección de cable (mm<sup>2</sup>) en VDC

Donde:

S: Sección de cable en mm<sup>2</sup>.

I: Corriente del tramo.

L: Distancia del cable (m).

$\sigma$  : Conductividad del cobre (59).

$\Delta V$  : Caída de tensión.

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \text{Cos}\varphi}{\sigma \cdot \Delta V}$$

Ec. 29. Fórmula para encontrar la sección de cable (mm<sup>2</sup>) en VAC

Donde:

S: Sección de cable en mm<sup>2</sup>.

I: Corriente del tramo.

L: Distancia del cable (m).

$\sigma$  : Conductividad del cobre (59).

$\Delta V$  : Caída de tensión.

$\text{Cos}\varphi$  : Factor de potencia.

Para el cálculo de la sección en VDC, el valor de la caída de tensión por ser voltajes pequeños se toma de 1V y para la sección en VAC un valor de 5v.

#### Sección de cable en VDC

Caída de tensión [V]	1	Conductividad del cobre	0.0339
Sección	Corriente	Largo	mm2
<b>Panel-Regulador</b>	<b>10.45</b>	<b>13.00</b>	<b>4.61</b>
<b>Regulador-Batería</b>	20	3	2.03
<b>Batería-Inversor</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>1.08</b>

Tabla 17. Secciones de cable para tramos en VDC



**Sección de cable en VAC**

<b>Caída de tensión [V]</b>	<b>5</b>	<b>Conductividad del Cobre</b>	<b>0.0058</b>
<b>Sección</b>	<b>Corriente</b>	<b>Largo</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>Inversor-Cargas AC</b>	0.75	46.00	0.20

Tabla 18. Secciones de cable para tramo en VAC

Calibre de cable a utilizar:

<b>mm<sup>2</sup></b>	<b>AWG</b>
5.26	10
3.31	12
2.08	14

Los valores de calibre del cable a utilizar están dados por la tabla americana de calibres de conductores AWG, ir a **Anexo “8” para poder revisar la respectiva tabla de calibres AWG.**

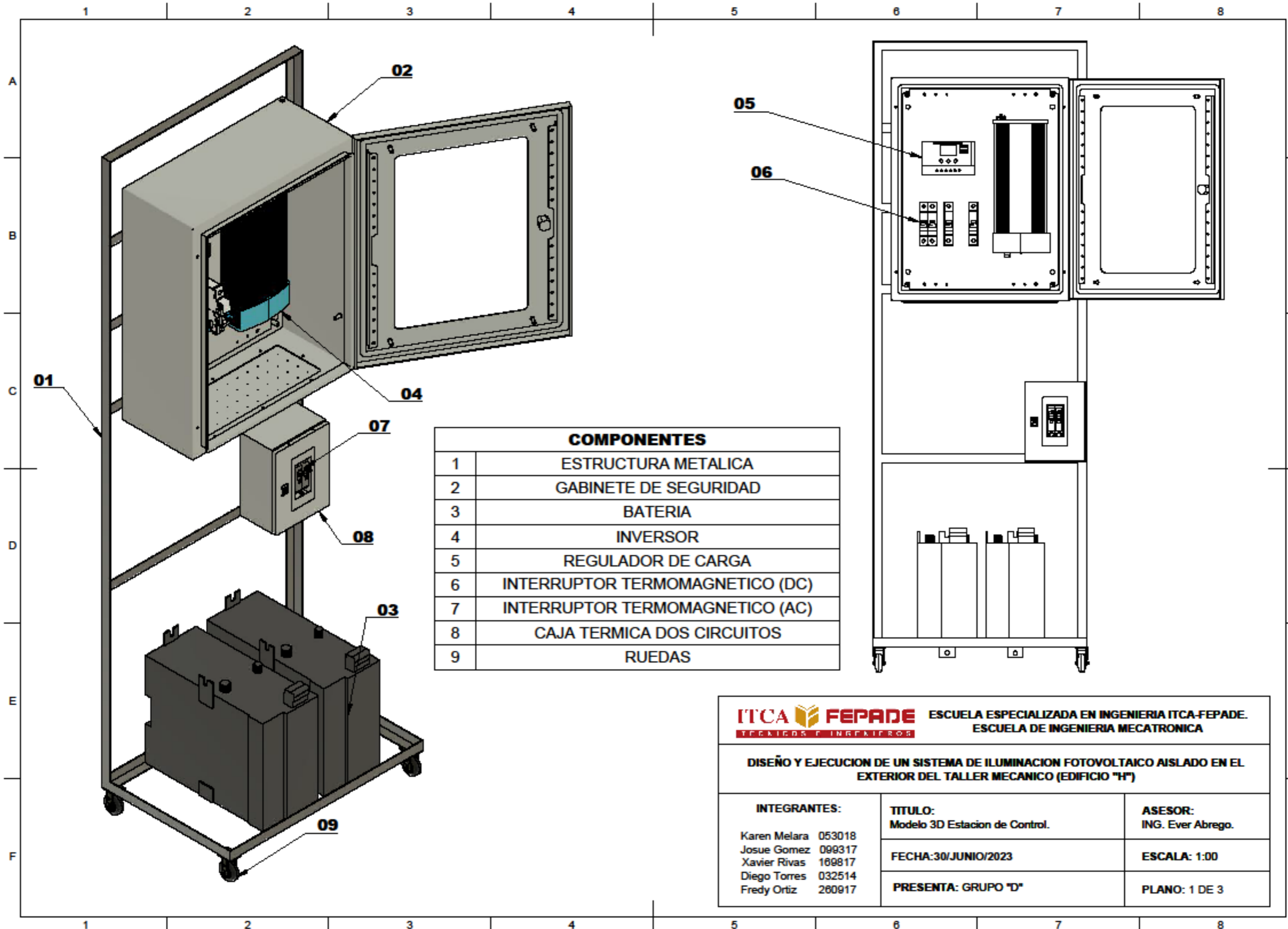
[31]

#### 4.5. Tabla resumen de componentes


ítem	Datos técnicos	Cantidad
<b>Módulo Solar</b>	Potencia: 200W tolerancia 0~+5W Policristalino. Eficiencia 15.27% Vmp: 18.54V Imp: 10.79A Voc: 22.51V Isc: 11.75A	1
<b>Breaker 2P 30A</b>	NM 60898 IEC 60947-2 2P 20/30A 400V Tipo DIN 35mm Disparo tipo térmico y magnético ON-OFF	1 c/u
<b>Breaker 2P 20A</b>		
<b>Regulador de carga solar 20A 12/24V</b>	Voltaje sistema: 12V/24V auto. V FV: $\leq 50V$ I nominal: 20A Caída tensión ckto carga: 0.21v Modo de carga: PWM Multietapas Protección bajo voltaje (LVD): 10.8V Reconexión bajo voltaje (LVR): 12.6V	1
<b>Batería 100Ah</b>	Voltaje nominal 12V Capacidad nominal: 110.0 Ah Terminal M6 Resistencia interna 4.9m $\Omega$ Ciclo de uso: corriente de carga inicial de menos de 30A, voltaje 14.4V. Capacidad afectada por temperatura: 40°C 103%, 25°C 100% y 0°C 86%.	2
<b>Inversor</b>	Potencia 2000W Corriente 20A Voltaje salida: 120VAC 1 tomacorrientes tipo NEMA 5-15R	1
<b>Reflector LED</b>	Potencia: 30W Temperatura de color: 65000K Ángulo de temperatura: 120° Luminosidad: 3600 lm Voltaje: 85-240V AC IP66 Factor de potencia 0.9	3

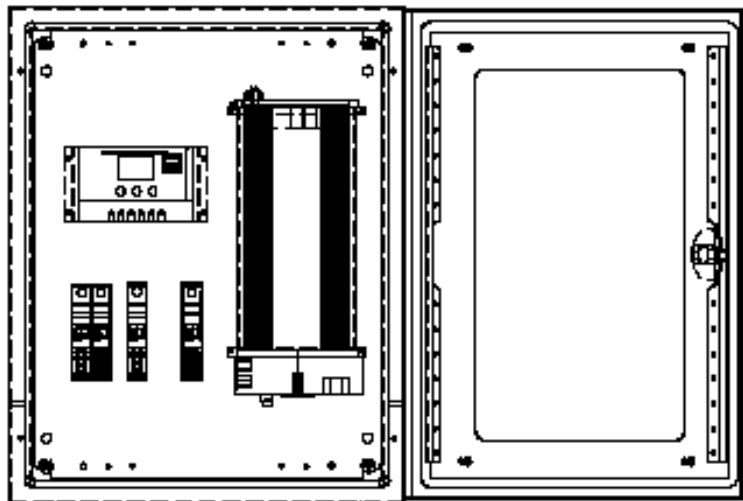
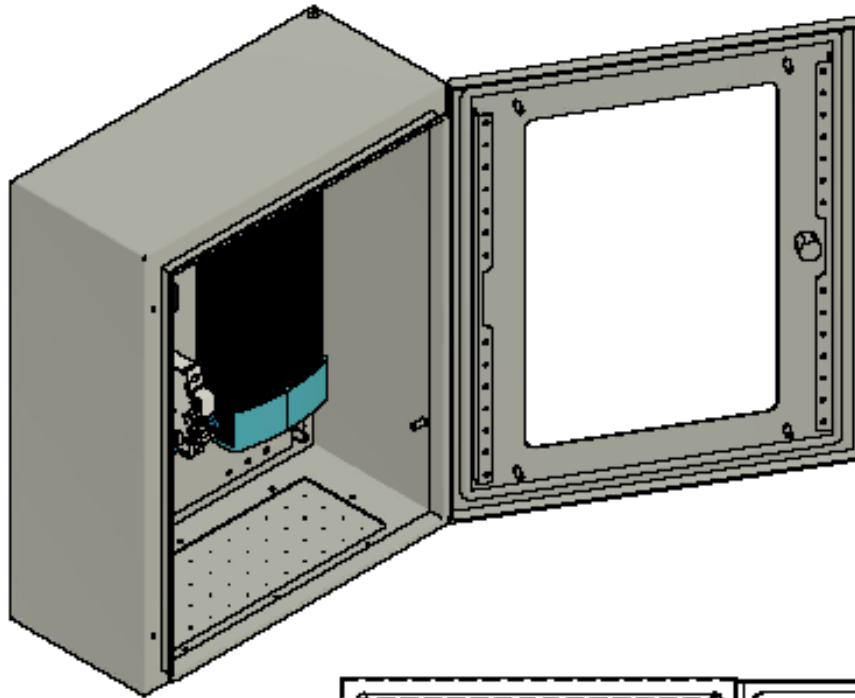
#### 4.6. Presupuesto

Cant.	Descripción	\$ unidad	Total
1	Panel Solar 200W 12V	\$ 165.20	\$ 165.20
1	Controlador PWM 20A	\$ 38.11	\$ 38.11
2	Batería RLV 12VDC 100Ah	\$ 176.73	\$ 353.46
1	Inversor 2000W 12VDC/120VAC	\$ 100.00	\$ 100.00
1	Conector MC4 par	\$ 2.62	\$ 2.62
1	Breaker 16 Amp 2 polos DC Panel-Regulador	\$ 15.82	\$ 15.82
1	Breaker 32 Amp 1 polo DC Regulador - Batería	\$ 7.72	\$ 7.72
1	Breaker 100 Amp 1 polo DC Batería - Inversor	\$ 16.89	\$ 16.89
1	Riel Dim 35mm perforado	\$ 3.36	\$ 3.36
19	Cable TSJ AWG 2x10	\$ 2.85	\$ 54.15
3	Reflector 30W	\$ 22.90	\$ 68.70
1	Base para fotocelda con lámina de montaje	\$ 5.95	\$ 5.95
1	Fotocelda	\$ 8.50	\$ 8.50
1	Cable TSJ #12	\$ 1.62	\$ 1.62
64	Cable TSJ #14	\$ 1.15	\$ 73.60
1	termomagnético 15A 1P AC	\$ 4.40	\$ 4.40
1	Tablero Monofásico 2 Cktos	\$ 8.95	\$ 8.95
1	Toma para extensión macho	\$ 1.00	\$ 1.00
2	Conector recto para cable de 3/4 pulga	\$ 0.80	\$ 1.60
5	Conector recto para cable de 1/2 pulga plástico	\$ 0.70	\$ 3.50
1	Gabinete metálico 40x30x20 cm	\$ 67.00	\$ 67.00
2	Angulo R 1/8x1-1/4 2.60 mm	\$ 12.25	\$ 24.50
2	Rodo plancha hule gir. 1-1/2	\$ 4.25	\$ 8.50
2	Rodo plancha hule fijo 1-1/2	\$ 2.25	\$ 4.50
1	Pintura esmalte gris anticorrosiva	\$ 8.95	\$ 8.95
1	Thinner premium	\$ 1.95	\$ 1.95
15	Remache pop 3/16x5/8 pulga.	\$ 0.07	\$ 1.05
1	Brocas para hierro juego de 3	\$ 2.20	\$ 2.20
6	Terminales de ojo	\$ 0.45	\$ 2.70
1	Machuelo 5/32 - 32	\$ 3.75	\$ 3.75
1	Impresiones adhesivas	\$ 3.00	\$ 3.00
Cantidad total		\$ 1028.25	



COMPONENTES	
1	ESTRUCTURA METALICA
2	GABINETE DE SEGURIDAD
3	BATERIA
4	INVERSOR
5	REGULADOR DE CARGA
6	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (DC)
7	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (AC)
8	CAJA TERMICA DOS CIRCUITOS
9	RUEDAS

 <b>ITCA FEPADE</b> ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERIA ITCA-FEPADE. ESCUELA DE INGENIERIA MECATRONICA		
<b>DISEÑO Y EJECUCION DE UN SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO AISLADO EN EL EXTERIOR DEL TALLER MECANICO (EDIFICIO "H")</b>		
<b>INTEGRANTES:</b> Karen Melara 053018 Josue Gomez 099317 Xavier Rivas 189817 Diego Torres 032514 Fredy Ortiz 260917	<b>TITULO:</b> Modelo 3D Estacion de Control.  <b>FECHA:</b> 30/JUNIO/2023  <b>PRESENTA:</b> GRUPO "D"	<b>ASESOR:</b> ING. Ever Abrego.  <b>ESCALA:</b> 1:00  <b>PLANO:</b> 1 DE 3



**ITCA FEPADE**  
TÉCNICOS E INGENIEROS

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERIA ITCA-FEPADE.  
 ESCUELA DE INGENIERIA MECATRONICA

**DISEÑO Y EJECUCION DE UN SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO AISLADO EN EL EXTERIOR DEL TALLER MECANICO (EDIFICIO "H")**

**INTEGRANTES:**

Karen Melara 053018  
 Josue Gomez 099317  
 Xavier Rivas 169817  
 Diego Torres 032514  
 Fredy Ortiz 280917

**TITULO:**

Modelo 3D Estacion de Control.

**ASESOR:**

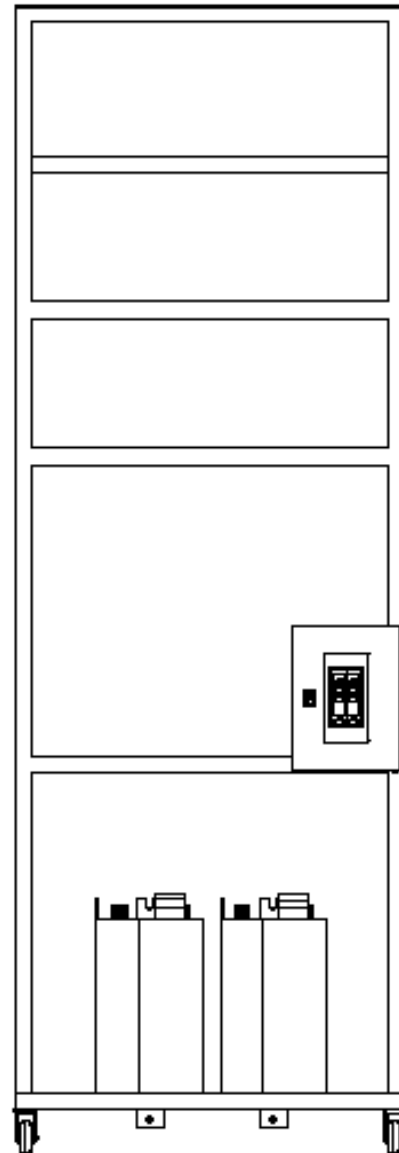
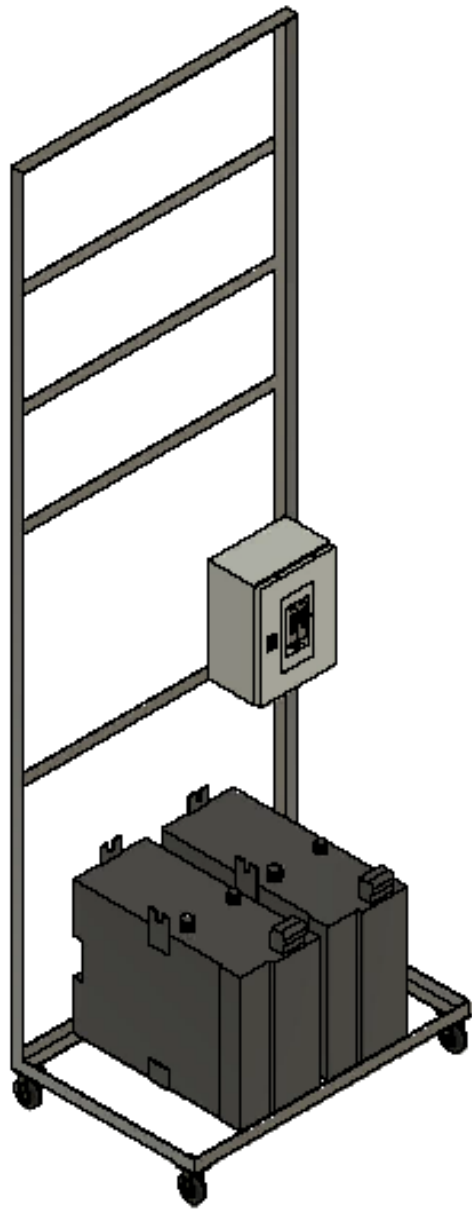
ING. Ever Abrego.

**FECHA:** 30/JUNIO/2023

**ESCALA:** 1:00

**PRESENTA:** GRUPO "D"

**PLANO:** 2 DE 3



**DISEÑO Y EJECUCION DE UN SISTEMA DE ILUMINACION FOTOVOLTAICO AISLADO EN EL EXTERIOR DEL TALLER MECANICO (EDIFICIO "H")**

**INTEGRANTES:**

Karen Melara 053018  
 Josue Gomez 099317  
 Xavier Rivas 189817  
 Diego Torres 032514  
 Fredy Ortiz 280917

**TITULO:**

Modelo 3D Estacion de Control.

**ASESOR:**

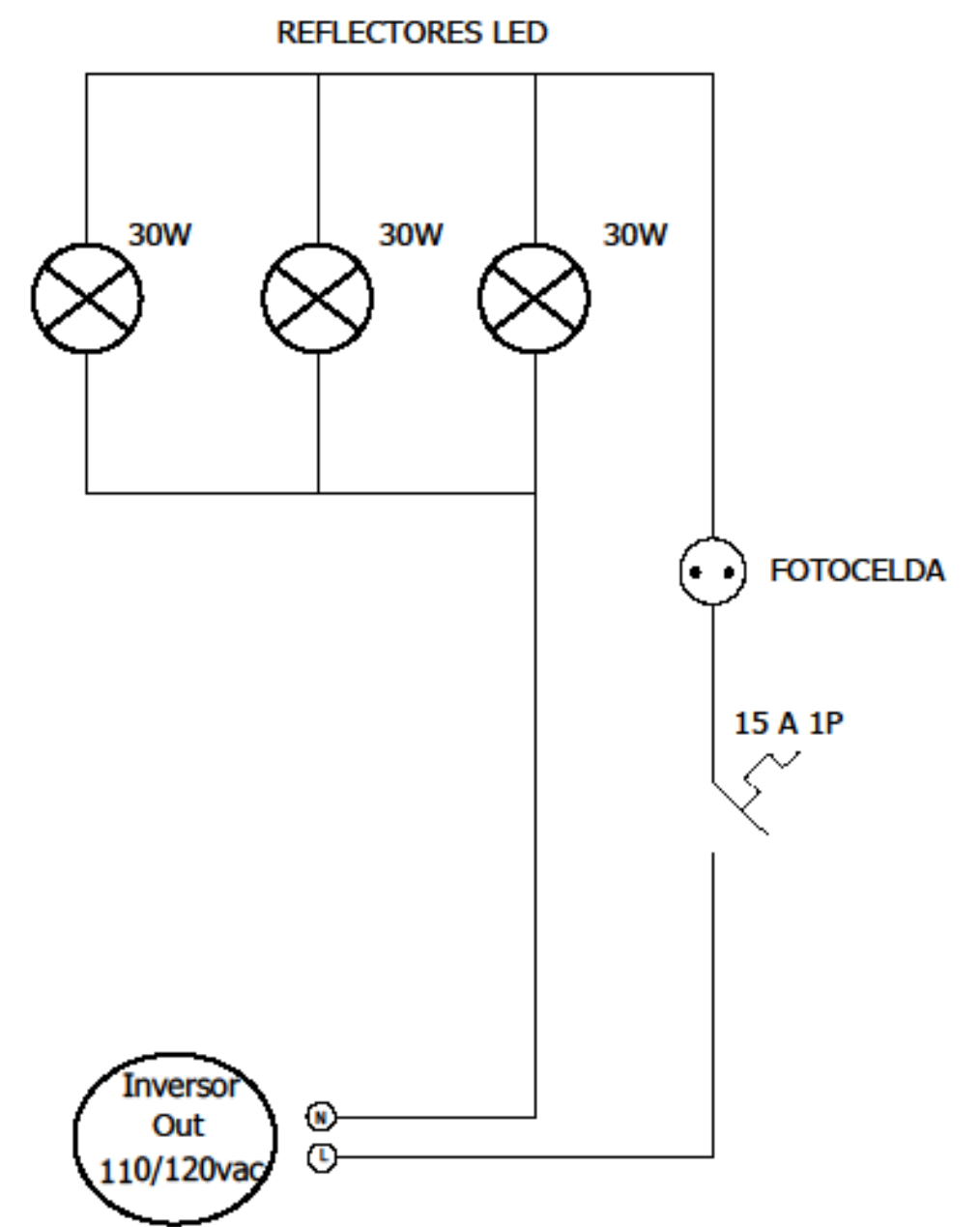
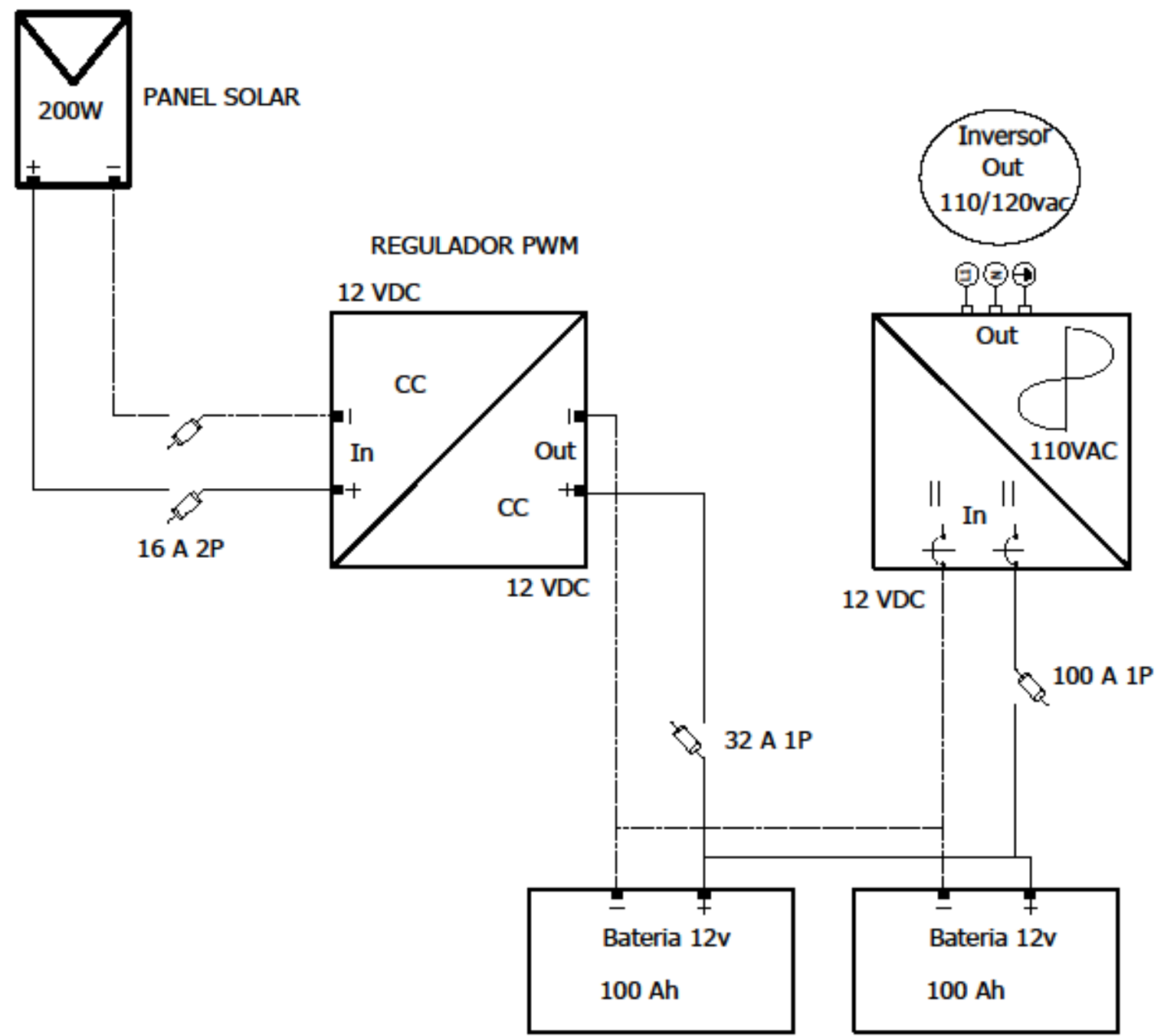
ING. Ever Abrego.

**FECHA:** 30/JUNIO/2023

**ESCALA:** 1:00

**PRESENTA:** GRUPO "D"

**PLANO:** 3 DE 3



**SIMBOLOGIA**

	INVERSOR VOLTAJE DC - AC		PANEL SOLAR 200W
	REGULADOR / CONTROLADOR		FUSIBLE DC
----- VOLTAJE 12 VDC			

		ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERIA ITCA FEPADE	
		ESCUELA DE INGENIERIA EN MECATRONICA	
<b>DISEÑO Y EJECUCION DE UN SISTEMA DE ILUMINACION EXTERIOR FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL TALLER MECANICO EDIFICIO H</b>			
<b>INTEGRANTES:</b>		<b>TITULO:</b>	<b>ASESOR:</b>
KAREN MELARA JOSUE GOMEZ		DIAGRAMA MULTIFILAR	ING. EVER ABREGO PREZA
ERICK RIVAS DIEGO TORRES		<b>PRESENTA:</b>	<b>FECHA:</b>
FREDY ORTIZ		GRUPO D	JULIO 2023
			<b>ESCALA:</b>
			S / N
			1/1

# Capítulo 5

## Análisis de resultados



## 5.1. Análisis de resultados

Como parte de los principios fundamentales de la investigación científica, en la realización de un proyecto de investigación se espera cumplir con objetivos o metas. Es necesario reconocer cómo se desarrolló el proyecto y los objetivos que se trazaron para la realización de este, luego compararlos y saber qué sucedió con ello; a esto se le conoce como análisis de resultados.

A partir del análisis, que es donde se procesa toda la información recopilada al concluir el proyecto, se recaban conclusiones según lo que los datos originan y a su vez, se proponen recomendaciones.

Para iniciar con el análisis de resultados, se propone hacer una relación directa con los objetivos previamente planteados.

- **Objetivo general:** Diseñar y ejecutar un sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado para el taller mecánico edificio H.
  - **Análisis del objetivo general:** Se diseñó y ejecutó un sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado en el taller mecánico, edificio H. Esto fue posible a partir de investigación acerca del funcionamiento y manera de implementar los sistemas de iluminación para exteriores fotovoltaicos aislados.
- **Objetivo específico 1:** Realizar un estudio de las necesidades de iluminación exterior del taller mecánico edificio H.
  - **Análisis del objetivo específico 1:** Se realizaron visitas y se recabó información respecto a las necesidades con las que contaba el taller mecánico edificio H, también se investigaron requerimientos técnicos, como las diferentes herramientas con las que contábamos para llevar a cabo el proyecto, los espacios de trabajo y colocación de componentes, equipo de seguridad, áreas y alturas, etc.
- **Objetivo específico 2:** Seleccionar y evaluar los componentes adecuados para el sistema de iluminación exterior.
  - **Análisis del objetivo específico 2:** Se llevó a cabo visitas a diferentes tiendas y distribuidores de equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos, así como ferreterías y consultas a tiendas en línea para obtener cotizaciones respecto a los componentes que se ofrecían y las capacidades de estos, haciendo comparativas respecto a los componentes y precios de lugar en lugar.

- **Objetivo específico 3:** Diseñar y ejecutar un sistema fotovoltaico aislado, considerando la ubicación y disposición de los paneles solares, el almacenamiento de energía y la gestión eficiente de la misma.
  - **Análisis del objetivo específico 3:** Se diseñaron diferentes propuestas y prototipos para el sistema fotovoltaico aislado, considerándose la ubicación para el montaje del panel de control y cercanía con la zona de colocación del panel solar, manteniéndose el sistema de control y el sistema de almacenamiento de energía juntos, permitiendo gestionar la energía de manera eficiente. Se dispuso de un módulo en el cual se montaron el sistema de almacenamiento de la carga y el panel de control, permitiéndole ser utilizado también como un recurso didáctico.
- **Objetivo específico 4:** Establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el sistema de iluminación exterior fotovoltaico aislado, considerando los requisitos de los componentes, la frecuencia de mantenimiento y las posibles fallas o problemas que puedan surgir.
  - **Análisis del objetivo específico 4:** Se proporcionarán fichas técnicas de componentes y hojas de chequeo para los mantenimientos, así mismo, recomendaciones para la realización de estos para mantener el buen estado y funcionamiento del sistema.

# Capítulo 6

## Conclusiones y recomendaciones

## **6.1. Conclusiones**

Los sistemas solares fotovoltaicos son una excelente alternativa para realizar un sistema de iluminación. Estos sistemas solares fotovoltaicos pueden ser de dos tipos, aislados y no aislados. Cabe mencionar que el sistema de iluminación también puede ser para interior o exterior.

Los elementos escogidos para un sistema pueden variar según los cálculos realizados en el levantamiento de los requerimientos o planeación, para el caso, el sistema implementado en el taller mecánico edificio H de ITCA FEPADE en Santa Tecla cuenta con elementos con características y especificaciones técnicas que suplen las necesidades que se exigen para lograr iluminar el pasillo exterior del edificio H.

Al implementar un sistema solar fotovoltaico aislado para la iluminación exterior del edificio, se garantiza para las personas que transitan la zona durante las noches como estudiantes de la escuela nocturna y vigilancia puedan moverse sin problema. Así mismo, a largo plazo el sistema generará un ahorro en el consumo energético, ayudando así, al medio ambiente.

## **6.2. Recomendaciones**

### **6.2.1. Panel**

**Apaga el sistema:** Antes de comenzar la limpieza, asegúrate de apagar o desconectar el sistema solar para evitar cualquier riesgo eléctrico.

**Realiza la limpieza en un día nublado o temprano en la mañana:** Intenta limpiar los paneles solares en un día nublado o temprano en la mañana cuando las temperaturas son más bajas. Esto ayudará a evitar que el agua se evapore rápidamente y deje manchas en los paneles.

**Usa agua y un paño suave:** Utiliza agua limpia y un paño suave o una esponja no abrasiva para limpiar la superficie de los paneles solares. Evita el uso de productos químicos agresivos que puedan dañar los paneles.

**Limpia suavemente:** Limpia los paneles solares con movimientos suaves y circulares. No apliques una presión excesiva que pueda rayar o dañar la superficie.

**Enjuaga con agua limpia:** Después de limpiar los paneles solares, enjuágalos con agua limpia para eliminar cualquier residuo de jabón o suciedad restante.

**Evita el uso de objetos afilados o abrasivos:** No utilices herramientas o utensilios afilados, como rasquetas o cepillos de cerdas duras, ya que pueden rayar o dañar la superficie de los paneles solares.

**Elimina obstrucciones:** Si los paneles solares tienen acumulación de hojas, ramas u otros objetos, retíralos suavemente con las manos o con un cepillo suave.

**Mantén la seguridad:** Asegúrate de tomar las precauciones de seguridad adecuadas al trabajar en altura o cerca de los paneles solares. Si no te sientes cómodo o seguro haciendo la limpieza tú mismo, considera contratar a un profesional para realizar el trabajo.

**Orientación y ángulo:** Asegúrate de que los paneles solares estén orientados hacia el sur (en el hemisferio norte) o hacia el norte (en el hemisferio sur) para recibir la máxima cantidad de luz solar. Además, ajusta el ángulo de inclinación de los paneles según la latitud de la ubicación especificada en este documento para optimizar la captación de energía solar.

Es importante tener en cuenta que la frecuencia de limpieza puede variar según la época del año.

### **6.2.2. Luces**

**Mantenimiento regular:** Inspecciona periódicamente las luces para asegurarte de que todos los componentes estén en buen estado. Reemplaza cualquier parte dañada o desgastada para mantener un rendimiento óptimo.

**Inspección regular:** Realiza inspecciones periódicas de tus luces para verificar su funcionamiento y detectar posibles problemas. Revisa los cables, conexiones y carcasa de las luces en busca de daños, corrosión o signos de desgaste.

**Limpieza:** Limpia regularmente las luces para eliminar la suciedad, el polvo y otros residuos que puedan afectar su rendimiento. Utiliza un paño suave o una esponja y agua para limpiar la carcasa y las partes externas de las luces. Evita el uso de productos químicos abrasivos que puedan dañar los materiales.

**Reemplazo de bombillas:** asegúrate de cambiarlas cuando sea necesario. Si una o varias bombillas están fundidas, reemplázalas por nuevas del mismo tipo y potencia recomendada por el fabricante.

**Protección contra la intemperie:** Verifica que las luces selladas adecuadamente para su uso en exteriores. Si es necesario, aplica sellador o silicona alrededor de las conexiones y juntas para protegerlas contra la humedad y los elementos climáticos.

**Ajuste y alineación:** Asegúrate de verificar y ajustar su posición y ángulo según sea necesario para obtener la iluminación deseada.

**Revisión de cables y conexiones:** Inspecciona regularmente los cables y conexiones de las luces para asegurarte de que estén en buen estado y correctamente conectados. Reemplaza cualquier cable dañado o suelto y aprieta las conexiones si es necesario.

**Seguridad:** Siempre ten en cuenta las precauciones de seguridad al trabajar con luces, especialmente si están conectadas a la corriente eléctrica. Asegúrate de seguir las instrucciones del fabricante y las aquí descritas.

### **6.2.3. Baterías**

Verificación regular del nivel de electrolito: Comprueba periódicamente el nivel de electrolito en las celdas de la batería. Asegúrate de que el nivel de líquido esté por encima de las placas de plomo sumergidas. Si es necesario, agrega agua destilada para mantener el nivel adecuado.

Mantenimiento de la carga: Las baterías de plomo-ácido deben mantenerse cargadas para un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada. Si la batería no se utiliza durante un período prolongado, asegúrate de recargarla regularmente para evitar la sulfatación.

Limpieza de los bornes y terminales: Los bornes y terminales de la batería pueden acumular corrosión con el tiempo. Limpia regularmente los bornes y terminales con un cepillo de alambre para eliminar la corrosión. También puedes aplicar una capa delgada de vaselina o grasa dieléctrica en los bornes después de limpiarlos para prevenir la corrosión futura.

Protección contra la descarga profunda: Evita descargar la batería por debajo del 20% de su capacidad, ya que las descargas profundas pueden dañarla irreversiblemente.

Mantenimiento de la temperatura: Las baterías de plomo-ácido funcionan mejor a temperaturas moderadas. Evita exponer la batería a temperaturas extremas.

Reemplazo oportuno: Las baterías de plomo-ácido tienen una vida útil limitada. Si la capacidad de la batería disminuye significativamente o si experimentas problemas recurrentes a pesar de un buen mantenimiento, es recomendable reemplazarla para evitar problemas adicionales o fallos en el sistema.

#### **6.2.4. Inversor**

**Capacidad de carga:** Asegúrate de no sobrecargar el inversor. Verifica la capacidad de carga máxima recomendada por el fabricante y no excedas ese límite. Sobrecargar el inversor puede dañarlo y reducir su vida útil.

**Ventilación adecuada:** Los inversores de carga de onda modificada pueden generar calor durante su funcionamiento. Asegúrate de proporcionar una buena ventilación al inversor, evitando obstrucciones y permitiendo que el aire circule libremente alrededor de él.

**Conexiones seguras:** Verifica periódicamente las conexiones eléctricas del inversor. Asegúrate de que los cables estén bien conectados y que no haya cables sueltos o dañados. También verifica que las conexiones estén aisladas correctamente para evitar cortocircuitos.

**Protección contra sobretensiones:** Utiliza dispositivos de protección contra sobretensiones, como supresores de picos o reguladores de voltaje, para proteger el inversor y los dispositivos conectados contra fluctuaciones o sobretensiones en la alimentación eléctrica.

**Uso adecuado:** Utiliza el inversor de carga de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones del fabricante. Evita conectar dispositivos de alto consumo de energía que puedan exceder la capacidad del inversor. También evita conectar dispositivos sensibles a la calidad de la energía, ya que la onda modificada puede generar interferencias o problemas en ciertos equipos electrónicos.



### **6.2.5. Controlador de carga**

**Verificación regular:** Realiza inspecciones periódicas del controlador de carga para asegurarte de que todos los cables, conexiones y componentes estén en buen estado.

**Limpieza:** Limpia regularmente el controlador de carga para eliminar el polvo, la suciedad y otros residuos que puedan acumularse. Asegúrate de que el controlador esté desconectado antes de realizar cualquier limpieza.

**Conexiones seguras:** Verifica regularmente las conexiones eléctricas del controlador de carga. Asegúrate de que los cables estén correctamente conectados y apretados. Inspecciona los terminales y los bornes para asegurarte de que no haya corrosión y que estén limpios. Si es necesario, limpia los terminales con un cepillo de alambre o un limpiador de contactos.

**Configuración adecuada:** Asegúrate de configurar correctamente el controlador de carga de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones del fabricante. Configura los parámetros de carga, como el voltaje de carga y la corriente de carga, de acuerdo con las especificaciones de tus baterías y paneles solares.

**Monitoreo regular:** Realiza un seguimiento regular del funcionamiento del controlador de carga. Verifica los indicadores LED o la pantalla del controlador para asegurarte de que el sistema esté funcionando correctamente. Presta atención a cualquier advertencia o código de error que pueda indicar un problema.

## Glosario

---

### A

Aislamiento galvánico: Separación eléctrica entre circuitos.  
· 71, 72

Alumbrado público: Sistema de iluminación en áreas  
públicas. · 38, 39

Ángulo de azimut: Dirección horizontal en la que se orienta  
un panel solar. · 54

Ángulo plano: Ángulo desde el cual se observa una fuente  
de luz. · 31

Ángulo sólido: Medida tridimensional de la extensión de  
un haz de luz. · 17, 31, 32

Área total: Superficie total de un lugar o instalación. · 14,  
80, 84

Autoconsumo: Consumir la energía generada localmente  
sin exportar a la red. · 68, 71, 72, 117

AWG: American Wire Gauge, sistema de calibre de cables.  
· 43, 97, 99

---

### B

Batería: Dispositivo de almacenamiento de energía  
eléctrica. · 10, 12, 13, 14, 16, 18, 39, 55, 56, 57, 58, 59,  
60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 89, 92, 93, 94, 110, 123

---

### C

Características fotométricas: Propiedades ópticas de la luz,  
como intensidad y distribución. · 30

Células fotovoltaicas: Componentes que generan  
electricidad a partir de la luz solar. · 22, 47

Conductores eléctricos: Materiales que transportan  
corriente eléctrica. · 47

Conexión a red: Conectar un sistema a la red eléctrica. ·  
11, 69, 72

Corriente continua: Tipo de corriente eléctrica constante  
en una dirección. · 46, 67, 68, 69

Cuadro eléctrico: Panel que controla la distribución de  
electricidad. · 41

---

### D

Demandas de voltaje: Requisitos de voltaje para equipos  
eléctricos. · 55

Deslumbramiento: Efecto negativo de la luz intensa que  
dificulta la visión. · 29, 33

Diagrama de ciclos: Representación gráfica de un proceso  
repetitivo. · 15, 94

---

### E

Eficiencia lumínica: Relación entre la luz emitida y la  
energía consumida. · 40, 81

Electricidad: Forma de energía basada en la corriente  
eléctrica. · 24, 40, 46, 47, 117

Energía eléctrica: Forma de energía que alimenta las  
luminarias y otros dispositivos eléctricos. · 25, 27, 31,  
39, 46, 50, 51, 55, 61

Energía solar: Energía generada por la radiación solar. · 19,  
21, 22, 25, 26, 27, 38, 46, 54, 57, 108

Energía verde: Energía generada a partir de fuentes  
renovables. · 55

Estereorradianes: Unidad de medida de ángulo sólido. · 31

---

### F

Flujo lumínico: Medida de la cantidad de luz emitida por  
una fuente de luz en todas las direcciones. · 29

flujo luminoso · 29, 30, 31, 32, 34, 35, 80, 81, 83

Frecuencia: Número de ciclos por segundo en una corriente alterna. · 14, 26, 66, 67, 68, 70, 73, 106, 108

---

## **G**

Generación de energía: Proceso de producción de electricidad. · 23, 24, 51

---

## **H**

Haz de luz: Dirección y extensión del flujo luminoso. · 16, 83, 84

Horas Solar Pico: Medida de la disponibilidad de la radiación solar. · 89

---

## **I**

Iluminancia: Medida de la cantidad de luz incidente en una superficie. · 17, 32, 35, 37, 80, 85

Instalación eléctrica: Sistema de cables y componentes para distribuir electricidad. · 9, 14, 40, 41

intensidad luminosa · 17, 32, 36

Intensidad luminosa: Cantidad total de luz emitida en una dirección específica. · 17, 32, 36

Irradiación solar: Cantidad de radiación solar recibida en una superficie. · 23, 44, 45, 46, 90, 91

---

## **L**

Lámparas: Dispositivos que producen luz mediante una fuente de energía, como bombillas y tubos fluorescentes. · 16, 29, 30, 40, 81

Levantamiento: Proceso de evaluación y análisis de un sitio. · 15, 85

Luminancia: Brillo percibido de una superficie iluminada. · 9, 17, 32, 33, 34, 36, 37

Luminaria: Dispositivo que emite luz, como lámparas y luminarias. · 9, 29, 34, 35, 39, 40, 43, 80, 82, 83

---

## **M**

Magnitud de superficie: Intensidad de luz incidente en una superficie. · 31

Modelo comercial: Representación de un sistema de iluminación para fines comerciales. · 87

MPPT: Seguimiento del punto de máxima potencia, método para optimizar la energía solar. · 65, 66

---

## **N**

Niveles de iluminación: Intensidad de luz requerida para un entorno específico. · 39

---

## **O**

Ondas senoidales: Tipo de señal eléctrica con forma de onda sinusoidal. · 71, 74

---

## **P**

Panel solar: Dispositivo que convierte la energía solar en electricidad. · 9, 14, 21, 26, 38, 39, 52, 64, 65, 106

PWM: Modulación por ancho de pulso, técnica de control de energía. · 65, 66, 69, 98, 99

---

## **R**

Reacción química: Proceso que convierte la luz solar en electricidad en celdas solares. · 55, 57

Red eléctrica: Sistema de distribución de electricidad. · 39, 49, 51, 67, 68

Red pública: Sistema eléctrico conectado a la red. · 67

Rendimiento global: Eficiencia general de un sistema de energía solar. · 17, 88, 89, 92

Rendimiento luminoso: Eficiencia de una fuente de luz en la conversión de energía en luz visible. · 29, 31

---

## **S**

Sistema fotovoltaico autónomo: Sistema independiente de la red eléctrica. · 51

Sistemas de iluminación: Conjuntos de componentes que proporcionan iluminación, como lámparas y accesorios. · 26, 27, 29, 36, 105

Sistemas fotovoltaicos: Tecnología que convierte la luz solar en electricidad. · 23, 46, 54, 65, 66, 68

Sujeción mecánica: Mecanismos utilizados para fijar luminarias en su lugar. · 29

---

## **T**

Tensión del sistema: Nivel de tensión eléctrica en un sistema. · 88, 93

Termomagnéticos: Interruptores automáticos para proteger circuitos eléctricos. · 41

Tipo de luminaria: Clasificación de dispositivos de iluminación. · 82, 83

TNM: Se utilizan principalmente para hacer derivaciones eléctricas. · 43

Toroide: Forma de núcleo magnético utilizado en transformadores. · 66

TSJ: Multiconductor eléctrico flexible, formado por cordones de hilos de cobre suave trenzados en haz, aislados con cloruro de polivinilo. · 43, 99

---

## **U**

Umbral de contrastes: Diferencia mínima de luminancia necesaria para detectar un objeto. · 17, 34

## Referencias

- [1] Á. A. Bayod Rújula, ENERGÍAS RENOVABLES: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, Prensas de la Universidad de Zaragoza, p. 339.
- [2] R. A. Morales Hernández, J. J. Cáceres Chiquillo y R. E. Chillín Vásquez, ESTUDIO DE EFICIENCIA Y CALIDAD DE LA ENERGÍA GENERADA EN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO, 1ª ed. ed., I. Editores, Ed., Santa Tecla: ITCA Editores, 2014.
- [3] R. E. Fuentes Palacios, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO, I. Editores, Ed., San Miguel: ITCA Editores, 2015.
- [4] R. A. Morales Hernández y C. C. Juan José, DESARROLLO DE SISTEMA AUTÓNOMO INNOVADOR, I. Editores, Ed., Santa Tecla: ITCA Editores, 2013.
- [5] U. I. -. C. d. I. y. t. d. tecnología, Formación de Electricistas Cuarta Categoría.
- [6] V. G.-M. R. Joaquín González Pérez, Eficiencia Energetica en las Instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior, IC Editorial, 2016.
- [7] A. G. Espinoza, Estudio de Alternativas para el alumbrado con luminarias LED y sistemas de alimentación eléctrica fotovoltaica en áreas exteriores, Caracas: UCAB Universidad Católica Andrés Bello, 2021.
- [8] P. d. Transparencia. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiWrcj3ipv-AhWHq4QIHYZAXUQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.transparencia.gob.sv%2FInstitutions%2Fopamss%2Fdocuments%2F203012%2Fdownload&usg=AOvVaw1al3yGoubohQvi4edB0s2V>. [Último acceso: 4 Abril 2023].
- [9] O. S. d. R. Técnica, «PRODUCTOS ELÉCTRICOS. LUMINARIAS. ESPECIFICACIONES DE,» [En línea]. Available: [https://members.wto.org/crnattachments/2021/TBT/SLV/21\\_6768\\_00\\_s.pdf](https://members.wto.org/crnattachments/2021/TBT/SLV/21_6768_00_s.pdf). [Último acceso: 26 Abril 2023].
- [10] A. E. Salvador, «Manual técnico y comercial para electricistas,» 9 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.aes-elsalvador.com/sites/default/files/2021-09/Manual%20Técnico%20y%20Comercial%20para%20Electricistas%20V07.09.2021.pdf>. [Último acceso: 7 Abril 2023].
- [11] C. y. T. El Ministerio de Educación, «Instalaciones eléctricas implementando eficiencia energética (EE), red verde y/o sistemas de energía renovable (ER),» [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiA3r299Zv-AhUnSzABHQ-tAFEQFnoECCMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.mined.gob.sv%2Fdescarga%2Flicitaciones%2F>

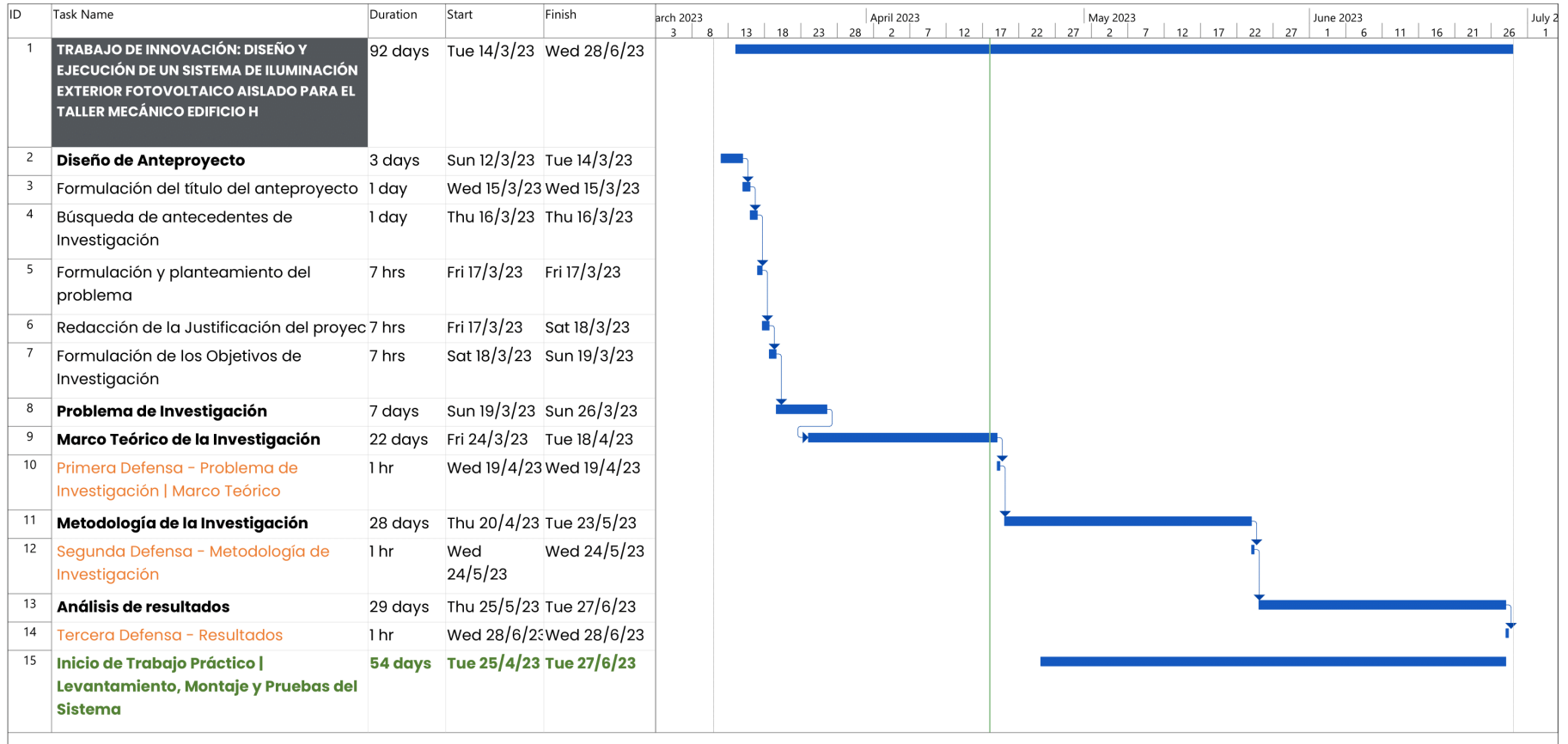
- 02-  
2019%2FEspecificaciones%2520tecnicas%2520ELECTROMECA%25C3%2581NICAS.doc&usg=AOv.  
[Último acceso: 8 Abril 2023].
- [12] I. E. Linares, Manual para electricistas de 4ta Categoría, San Salvador, 2022.
- [13] K. R. V. Supo, «Udep,» Mayo 2021. [En línea]. Available:  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4968/IME\\_2106.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4968/IME_2106.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 13 Abril 2023].
- [14] G. M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [15] R. S. J. A. V. R. I. Guerrero Flores Alan Uriel, «Instituto Politécnico Nacional,» Septiembre 2016. [En línea]. Available:  
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21082/TESIS%20FINAL%20VRI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 13 Abril 2023].
- [16] M. B. L. Miquel Casa Vilaseca, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Mexico: Alfaomega, Marcombo, 2012.
- [17] T. P. Benito, MANUAL DE TECNICO DE AUTOCONSUMO, Alfaomega, 2020.
- [18] M. Barrio y M. C. Vilaseca, «Intalaciones solares fotovoltaicas,» Alfaomega, Mexico, 2017.
- [19] P. a. Faure, «Planté and Faure Batteries.,» Science, 1881. [En línea]. Available: Retrieved from <http://>. [Último acceso: 10 04 2023].
- [20] A. E. Solutions, «¿Qué es un regulador de carga?,» Autosolar.es, 2022. [En línea]. Available:  
<https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>. [Último acceso: 9 Abril 2023].
- [21] T. P. Benito, Autoconsumo. Manual del técnico instalador, España: CREACIONES COPYRIGHT, 2019.
- [22] R. C. Valeria Alejandra, «Aplicación de una red inteligente a las redes de distribución de El Salvador considerando la generación distribuida,» Ciudad Universitaria, San Salvador, 2021.
- [23] P. B. Tomás, Manual del técnico instalador de autoconsumo, Alfaomega, Creaciones Copyright, p. 184.
- [24] P. & H. S. R. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, McGraw-Hill Companies, 2004.
- [25] C. C. d. C. y. S. O. Orozco, Metodología de la investigación, México D.F: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [26] H. M. Ruiz, Metodología de la investigación, México, D.F: Cengage Learning, 2012.

- [27] T. Gong, « ZGSM Tech,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.zgsm-china.com/blog/light-distribution-of-outdoor-luminaire-and-their-applications.html#distribucion-de-luz-de-luminarias-de-exterior-y-sus-aplicaciones>. [Último acceso: 30 Abril 2023].
- [28] D. GmbH, «DIALux Evo,» DIAL GmbH, [En línea]. Available: <https://www.dialux.com/en-GB/>. [Último acceso: 30 Abril 2023].
- [29] E. Rodriguez, «Areatecnologia,» CIFP Tecnológico Industrial de León, [En línea]. Available: [https://www.areatecnologia.com/electricidad/calculo-fotovoltaica.html#Elección\\_de\\_la\\_Tensión\\_de\\_la\\_instalación](https://www.areatecnologia.com/electricidad/calculo-fotovoltaica.html#Elección_de_la_Tensión_de_la_instalación). [Último acceso: 27 Mayo 2023].
- [30] M. C. Tobajas, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Barcelona: Cano Pina, 2016.
- [31] «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,» 3 Marzo 2022. [En línea]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/). [Último acceso: 1 Mayo 2023].
- [32] S. B. G. & C. KG, «sab-kabel.de,» [En línea]. Available: <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>. [Último acceso: 20 Mayo 2023].
- [33] O. S. d. N. (OSN), «Norma Técnica Salvadoreña Accesibilidad al Entorno Físico Urbanismo y Arquitectura 2021,» 10 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://conaipd.gob.sv/download/norma-tecnica-salvadorena-accesibilidad-al-entorno-fisico-urbanismo-y-arquitectura-2021/>. [Último acceso: 5 Abril 2023].

# Anexos



## Anexo 1: Cronograma de actividades



## Anexo 2: Ficha técnica módulo solar

**EOS POLY** by Eco Green Energy

EGE-200P-72

### ELECTRICAL DATA AT STC\*

Power output (Pmax)	200 W
Power tolerance	0~+5 W
Module efficiency	15.27 %
Maximum power voltage (Vmp)	18.54 V
Maximum power current (Imp)	10.79 A
Open circuit voltage (Voc)	22.51 V
Short circuit current (Isc)	11.75 A

\*Standard Test Conditions (STC) : Irradiance : 1,000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature : 25°C • AM: 1.5

### ELECTRICAL DATA AT NOCT\*\*

Power output (Pmax)	147.96 W
Maximum power voltage (Vmp)	17.12 V
Maximum power current (Imp)	8.63 A
Open circuit voltage (Voc)	20.90 V
Short circuit current (Isc)	9.54 A

\*\*Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) : Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Environment temperature : 20°C • AM : 1.5 • Wind speed : 1 m/s

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156.75x104mm)
Number of cells	72
Dimensions	1,320x992x35mm
Weight	15.0 kg
Glass	3.2 mm Tempered Glass, High Transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4mm <sup>2</sup> , 900mm (+) 900mm (-); Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5,400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2,400 Pa

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

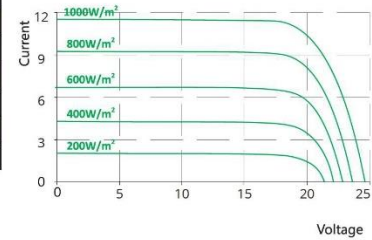
### MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1,500V/DC(IEC) 1,500V/DC(UL)
Max series fuse rating	25 A

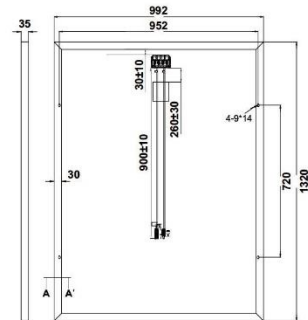
### PACKAGING (1,320x992x35mm)

Type	Quantity	Weight
Per pallet	31 pcs	495 kg
40ft HQ Container	1,160 pcs	18.5 t

### I-V CURVES



### Dimension of PV Module (mm)



Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice. Refer to our website for further information or contact one of our sales staff. [www.eco-greenenergy.com](http://www.eco-greenenergy.com)

### Anexo 3: Ficha técnica regulador solar

#### Technical Data Sheet

Model	HP2410	HP2420	HP2420-S
Rated current	10A	20A	20A
Current display function	NO	NO	YES
System voltage	Automatic recognition of 12 V/ 24 V		
No-load loss	< 10mA/12V; < 12mA/24V		
Max. Solar energy input voltage	<55V		
Max. voltage at the battery end	<35V		
Overvoltage protection	17.0V; ×2/24V;		
Equalizing charging voltage	14.6V; ×2/24V;		
Boost charging voltage	14.4V; ×2/24V;		
Floating charging voltage	13.8V; ×2/24V;		
Charging recovery voltage	13.2V; ×2/24V;		
Over-discharge recovery voltage	12.6V; ×2/24V;		
Over-discharge voltage	11.1V; ×2/24V;		
Equalizing charging interval	30days		
Equalizing charging time	1H		
Boost charging time	2H		
Temperature compensation	-3.0mV/°C/2V		
Light control voltage	Light control on 5V, ×2/24V; light control off 6V, ×2/24V;		
Light control judgment time	1minute		
Operating temperature	-25°C to +55°C ;		
IP protection degree	IP30		
Net weight	100g	160g	160g
Protection functions	Solar panel short circuit and reverse-connection protection		
	Over-temperature, overload and short circuit protection		
Dimensions	103×71×36(mm)	130×75×38(mm)	130×75×38(mm)

Material Code : 102858

## Anexo 4: Ficha técnica batería



**L-27MDC-160**



### LTH Ciclado Profundo - Aplicaciones Marinas

Los acumuladores LTH Ciclado Profundo para aplicaciones marinas han sido diseñados para soportar un alto número de descargas profundas y ser recargados sin afectar su desempeño.

Estos acumuladores son ideales para proveer energía eléctrica a todos los dispositivos adicionales que demanden energía a la embarcación, y que no cuenten con un sistema de generación propia o excedan la capacidad del sistema eléctrico. Por ejemplo: sistemas de navegación, equipos de radiocomunicación, troleadores, etc.

También pueden ser utilizados en aplicaciones como sistemas fotovoltaicos y bancos de respaldo.



### Especificaciones del Producto

BCI	Aplicación	Voltaje	Polaridad	Dimensiones			Peso (kg)	Garantía (meses)	
				Largo	Ancho	Alto*		Sin Costo	Prorrata
27	Ciclado Profundo	12	(+) / (-)	324	174	230	22.8	12	0

Amperios/Hora				Descarga (Amperios)				Capacidad de Reserva (minutos)			Energía (kWh)		
@5hrs	@10hrs	@20hrs	@100hrs	@5hrs	@10hrs	@20hrs	@100hrs	@25Amps	@56Amps	@75Amps	@5hrs	@20hrs	@100hrs
76	85	96	105	15.2	8.5	4.8	1.1	160	--	42	0.91	1.15	1.26

Ajustes de voltaje de cargadores (@ 25° C)							Terminales	
Voltaje del Sistema	6V	12V	24V	36V	48V	60V	MARINE WITH HEX	
Carga Lenta	7.40	14.80	29.60	44.40	59.20	74.00		
Carga Flotante	6.60	13.20	26.40	39.60	52.80	66.00		
Carga Nivelación	7.75	15.50	31.00	46.50	62.00	77.50		

\*La altura máxima incluye el poste.

Otras Aplicaciones

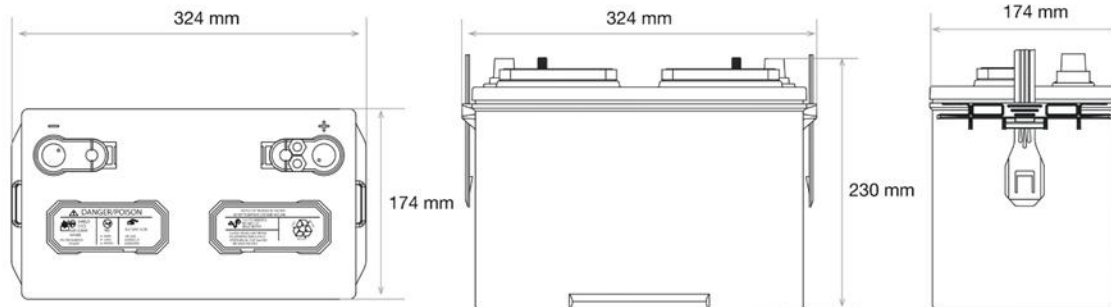


FTE-04-17

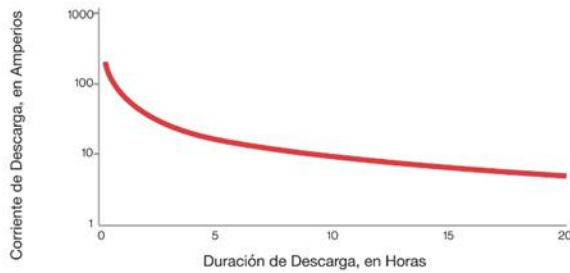


# L-27MDC-160

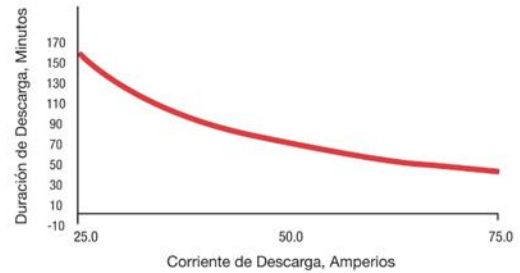
## Medidas



DESCARGA (AMPERIOS) SEGÚN PERÍODO DE HRS.\*



CAPACIDAD DE RESERVA SEGÚN DESCARGA\*



\*Para fines de estimación solamente

## Recomendaciones sobre uso y mantenimiento

- Recargue la batería al término de la jornada. No la guarde descargada.
- Antes de recargar la batería, asegúrese que el nivel del electrolito es el correcto. Si necesita agregar agua, procure que ésta sea totalmente libre de minerales. Aún así es preferible agregarle agua potable a no agregarle.
- Mantenga la batería limpia y libre de humedad.
- Limpie las terminales de la batería, cables y accesorios.



E-MAIL: [centrodeenlace@clarios.com](mailto:centrodeenlace@clarios.com)

[www.lth.com.mx](http://www.lth.com.mx)

CLARIOS





## Anexo 5: Ficha técnica protecciones

# STECK

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO

### Línea de Mini Interruptores

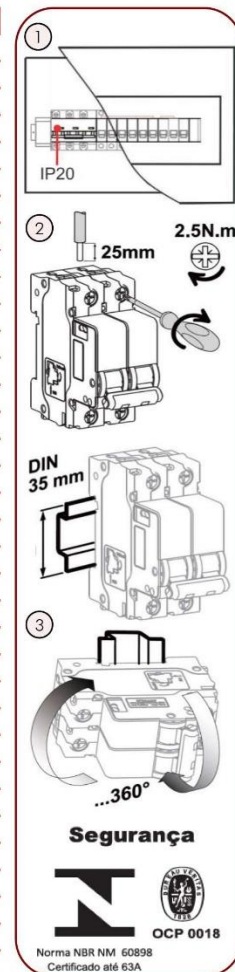
#### MINI INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS DIN - 2A HASTA 70A

La línea de Mini Interruptores Steck ofrece alta protección de instalaciones eléctricas contra cortocircuitos y sobrecargas.

Los Mini Interruptores son construidos en conformidad con las más rigurosas normas técnicas y pueden ser aplicadas a todo tipo de instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales de baja tensión en corriente alternada. Además, poseen alta tecnología de disparo libre: dispara hasta con la palanca de accionamiento está trabada en la posición "ON".



Características técnicas	
▪ Certificado conforme la Norma (até 63A)	NM 60898
▪ En conformidad con la Norma	IEC 60947-2
▪ Número de polos	1, 2, 3 y 4
▪ Curva de disparo termomagnético	Tipo B (3 a 5 x In) Tipo C (5 a 10 x In)
▪ Corriente nominal (In)	2A a 70A
▪ Tensión de operación nominal (Ue)	1P: 240Vac
▪ Tensión de aislamiento nominal (Ui)	2P, 3P e 4P: 400Vac Fase con fase: 500V Fase con tierra: 250V
▪ Tensión máxima de trabajo (U <sub>máx</sub> )	1P: 240V 2P, 3P e 4P: 400V
▪ Tensión soportable de impulso nominal (U <sub>imp</sub> )	4kV
▪ Frecuencia nominal (CA)	50/60Hz
▪ Resistencia mecánica	25.000 maniobras
▪ Resistencia eléctrica	6.000 maniobras
▪ Grado de protección (Fig. 1)	Dentro del cuadro domina IP del cuadro IP20 (en instalación expuesta)
▪ Temperatura ambiente para funcionamiento	-20°C a 60°C
▪ Temperatura ambiente para almacenamiento	-40°C a 70°C
▪ Humedad relativa	90 a 96% en 55°C 95 a 100% en 25°C
▪ Torque ideal de fijación de conductores (Fig. 2)	2,5N.m
▪ Terminales de conexión en bornes	Sin terminal hasta 25mm <sup>2</sup> Tipo pino hasta 25mm <sup>2</sup> Tipo tubular hasta 16mm <sup>2</sup>
▪ Tipo de instalación en riel (Fig. 3)	DIN 35mm sin restricción de posición
▪ Material de contacto	Fijo: Aleación con >50% de Cobre Móvil: Aleación con >50% de Cobre
▪ Clase de polución	2
▪ Sentido de alimentación	Ambos lados (arriba o abajo)
▪ Tipo de disparo	Térmico y magnético tipo fijo
▪ Palanca de apagado externo	Rojo con indicación ON-OFF
▪ Mecanismo de apagado	Operación eléctrica simultánea Operación mecánica simultánea



**Anexo 6: Ficha Técnica Inversor**

<b>OUTPUT</b>	<b>* Rated power</b>	<b>80W, 150W, 200W, 300W, 500W, 800W, 1000W, 1200W, 2000W, 3000W, 4000W, 5000W</b>				
	* Power surge	≥Rated power*2				
	* Output voltage	AC 100/110/115/120V (Internal adjustable) ± 10%			AC 200/220/230/240V (Internal adjustable) ± 10%	
	* Output frequency	60Hz+/- 5Hz 50Hz/ 60Hz optional			50Hz+/- 5Hz 50Hz/ 60Hz optional	
<b>INPUT</b>	* Battery voltage	12V	24V	36V	48V	60V
	* High voltage cut off	Dc15±1V	Dc30±2v	Dc45±2.5v	Dc60±3V	Dc75±3.8 V
	* Low voltage alarm	Dc10.5±0.3 V	Dc21±0.5V	Dc31±1V	Dc41±1.5 V	Dc52±2V
	* Low voltage out off	<Dc10±0.3V	<Dc20.3±0.5 V	Dc30±1.5 V	Dc40±2V	Dc51±2.5 V
	* Input voltage range	Dc10V- Dc15V	Dc20V- Dc30V	Dc30V- Dc45V	Dc40V- Dc60V	Dc50V- Dc75V
	* Reverse connects protection input	Fuse piece				
	* Indicator light	Green power indicator, red fault indicator				
	* Cooling	Fan				
	* The shell maximum working temperature	<75°C				
<b>Note: Some of the inverter is not designing undervoltage alarm. Undervoltage protection is 9.5 ± 0.3V.</b>						

Anexo 7: Ficha técnica Reflectores

**TALOYA**

**30 W**

LM 3000

120°

270°

FP 0.90

EMC

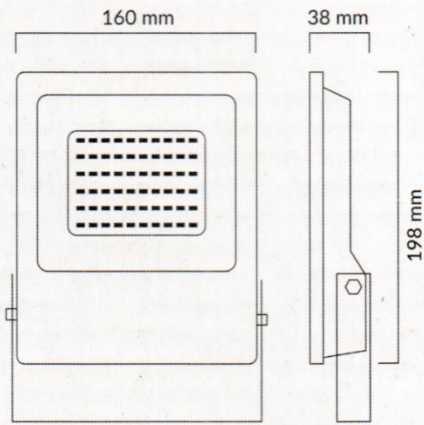
**30 W**

**LED**

30W IP67



# TALOYA



Jiangxi taloya technology co.,ltd  
**TLY-TG-A/B/C/D/H-30W/N/CK-1G-01**

This luminaire contains built-in LED lamps.

**LED**

A+  
A  
A  
C  
D  
E

The lamps cannot be chan in the luminaire.

874/2012

20000Hr		
<b>IP67</b>		AC 100-240V
	NO UV/IR	RoHS 2002/95/EC
		Hg 0,0mg

**TALOYA®**  
 Stock code:837854

## Anexo 8: Tabla de medidas de calibres de conductores

### Construcciones de conductores americanas tabla de AWG

AWG = sección real en mm<sup>2</sup> y resistencia de conductores

AWG es el valor exacto en mm<sup>2</sup> + E en mm.

N° AWG	Sección del cable mm <sup>2</sup>	Diámetro del cable Ø mm	Resistencia cond. en Ω/km
1000 MCM	507	29,3	0,036
900	456	27,8	0,04
750	380	25,4	0,048
600	304	22,7	0,061
550	279	21,7	0,066
500	253	20,7	0,07
450	228	19,6	0,08
400	203	18,5	0,09
350	177	17,3	0,10
300	152	16,0	0,12
250	127	14,6	0,14
4/0	107,2	11,68	0,18
3/0	85,0	10,40	0,23
2/0	67,4	9,27	0,29
0	53,4	8,25	0,37
1	42,4	7,35	0,47
2	33,6	6,54	0,57
3	26,7	5,83	0,71
4	21,2	5,19	0,91
5	16,8	4,62	1,12
6	13,3	4,11	1,44
7	10,6	3,67	1,78
8	8,34	3,26	2,36
9	6,62	2,91	2,77
10	5,26	2,59	3,64
11	4,15	2,30	4,44
12	3,31	2,05	5,41
13	2,63	1,83	7,02
14	2,08	1,63	8,79
15	1,65	1,45	11,2
16	1,31	1,29	14,7
17	1,04	1,15	17,8
18	0,8230	1,0240	23,0
19	0,6530	0,9120	28,3
20	0,5190	0,8120	34,5
21	0,4120	0,7230	44,0
22	0,3240	0,6440	54,8
23	0,2590	0,5730	70,1
24	0,2050	0,5110	89,2
25	0,1630	0,4550	111,0
26	0,1280	0,4050	146,0
27	0,1020	0,3610	176,0
28	0,0804	0,3210	232,0
29	0,0646	0,2860	282,0
30	0,0503	0,2550	350,0
31	0,0400	0,2270	446,0
32	0,0320	0,2020	578,0
33	0,0252	0,1800	710,0
34	0,0200	0,1600	899,0
35	0,0161	0,1430	1125,0
36	0,0123	0,1270	1426,0
37	0,0100	0,1130	1800,0
38	0,00795	0,1010	2255,0
39	0,00632	0,0897	2860,0

4/0 es también conocido como 0000; 1 mil = inch = 0.0254 mm

\*Indicado en MCM (circular mills) para secciones mas altas

1 CM = 1 Circ. mil = 0,0005067 mm<sup>2</sup>

1 MCM = 1000 Circ. mils = 0,5067 mm<sup>2</sup>