

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTENCIA FOTOVOLTAICO PARA  
ALIMENTAR UN PROCESO DE ENFRIAMIENTO PELTIER UTILIZADO  
EN LA CONSERVACIÓN DE VACUNAS EN ZONAS NO  
INTERCONECTADAS**

**ARLEY FERNANDO MARÍN OSPINA  
LUIS FERNANDO VÉLEZ QUINTERO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2019**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTENCIA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR  
UN PROCESO DE ENFRIAMIENTO PELTIER UTILIZADO EN LA CONSERVACIÓN  
DE VACUNAS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS**

**ARLEY FERNANDO MARÍN OSPINA**

**LUIS FERNANDO VÉLEZ QUINTERO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**ASESOR**

**ARLEY SALAZAR HINCAPIÉ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2019**

## Tabla de contenido

Tabla de ilustraciones .....	5
Lista de tablas .....	6
Lista de ecuaciones .....	7
Resumen .....	8
Introducción.....	9
Capítulo 1 .....	11
Planteamiento del problema .....	11
Capítulo 2 .....	12
Justificación.....	12
Capítulo 3 .....	13
Objetivo general .....	13
Objetivos específicos.....	13
Capítulo 4 .....	14
Referentes teóricos .....	14
4.1 Efecto Peltier .....	14
4.2 Energía renovable.....	15
4.3 Energía solar.....	15
4.4 Radiación solar en la Tierra.....	15
4.4.1 Cantidad de radiación solar. ....	16
4.5 Energía solar en Colombia. ....	17
4.6 Energía solar fotovoltaica.....	17
4.6.1 Instalación solar fotovoltaica aislada.....	18
4.7 Módulos fotovoltaicos .....	19
4.7.1 Tipos de paneles o módulos.....	20
4.8 Características eléctricas.....	21
4.9 Eficiencia del módulo.....	24
4.10 Energía generada por un panel .....	25
4.11 Símbolo.....	26
4.12 Asociación en serie y paralelo .....	27
4.13 Batería.....	29
4.13.1 Tipos de baterías .....	30
4.13.2 Capacidad .....	33

4.13.3 Profundidad de descarga.....	34
4.13.4 Vida útil .....	35
4.13.5 Símbolo.....	36
4.14 Regulador de carga .....	36
4.14.1 Regulador serie.....	37
4.14.2 Regulador paralelo.....	38
4.15 Contactor .....	39
4.16 Protección termomagnética .....	41
Capítulo 5 .....	43
Metodología.....	43
5.1 Panel fotovoltaico.....	44
5.2 Regulador .....	49
5.3 Banco de baterías.....	50
5.4 Contactores .....	50
5.5 Protecciones termomagnéticas .....	51
5.6 Cableado.....	51
Capítulo 6 .....	52
Análisis y Resultados .....	52
6.1 Carga o capacidad instalada .....	53
6.2 Corriente total del sistema .....	54
6.3 Número de paneles .....	55
6.4 Regulador .....	57
6.5 Contactores .....	58
6.6 Protecciones termomagnéticas .....	60
6.7 Banco de baterías.....	62
6.8. Cableado.....	63
Capítulo 7 .....	68
Recomendaciones .....	68
Capítulo 8 .....	70
Conclusiones .....	70
Bibliografía.....	71
Anexos.....	72

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Dispositivo Peltier .....	14
Ilustración 2. Sistema aislado fotovoltaico .....	19
Ilustración 3. Panel solar de silicio monocristalino .....	20
Ilustración 4. Panel solar de silicio policristalino .....	21
Ilustración 5. Curva V-1 de un panel fotovoltaico.....	23
Ilustración 6. Curva V-1 con variaciones de irradiación .....	23
Ilustración 7. Curva V-1 con variación de temperatura.....	24
Ilustración 8. Símbolo utilizado para una celda o módulo fotovoltaico .....	27
Ilustración 9. Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos .....	28
Ilustración 10. Conexión en serie de módulos fotovoltaicos .....	28
Ilustración 11. Conexión mixta de módulos fotovoltaicos .....	29
Ilustración 12. Batería monobloc.....	30
Ilustración 13. Batería estacionaria transparente .....	31
Ilustración 14. Hermética sin mantenimiento .....	32
Ilustración 15. Símbolo de pila, acumulador o célula.....	36
Ilustración 16. Regulador serie .....	37
Ilustración 17. Bucle de control.....	38
Ilustración 18. Regulador paralelo.....	39
Ilustración 19. Regulador paralelo con bloque de control .....	39
Ilustración 20. Contactor. ....	40
Ilustración 21. Esquema instalación solar aislada. ....	44
Ilustración 22. Regulador 60 A MPPT .....	58
Ilustración 23. Conexión de baterías.....	63
Ilustración 24. Contactor 50 A 24 VDC Telemecanique.....	59
Ilustración 25. Contactor 25 A 24 VDC SIEMENS .....	60
Ilustración 26. Protecciones termomagnéticas.....	62
Ilustración 27. Esquema de conexión instalación solar aislada. ....	66
Ilustración 28. Gabinete tablero de potencia. ....	66
Ilustración 29. Tablero de potencia ensamblado. ....	67
Ilustración 30. Prototipo Sistema de refrigeración tipo Peltier.....	67

## Lista de tablas

Tabla 1. Radiación solar según el tipo de cielo .....	16
Tabla 2. Relación material y eficiencia panel fotovoltaico.....	25
Tabla 3. Relación capacidad - temperatura.....	34
Tabla 4. Características eléctricas panel solar mtek .....	45
Tabla 5. Carga instalada en el sistema.....	46
Tabla 6. HSP corregida ciudad de Medellín .....	56
Tabla 7. Calibre de cables Centelsa .....	65
Tabla 8. Equivalencias AWG / MCM a mm <sup>2</sup> .....	65

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Eficiencia del módulo .....	24
Ecuación 2. Energía generada por un panel.....	25
Ecuación 3. Capacidad de una batería .....	34
Ecuación 4. Interruptor diferencial .....	42
Ecuación 5. Potencia Ley de Watts .....	46
Ecuación 6. Corriente Ley de Watts .....	46
Ecuación 7. Voltaje Ley de Watts .....	46
Ecuación 8. Cálculos de paneles.....	47
Ecuación 9. Rendimiento global del sistema .....	47
Ecuación 10. Regulador.....	50
Ecuación 11. Banco de baterías .....	50
Ecuación 12. Cableado .....	51

## **Resumen**

Con la realización de este proyecto se logró diseñar e implementar un sistema de potencia con la capacidad de producir 1200 Watts, requeridos por el sistema de refrigeración instalado previamente. Dicha potencia se genera a través de 4 paneles solares policristalinos de 300 Watts, 24 VDC conectados en paralelo. Además, se utilizó un regulador de carga, un totalizador, banco de baterías, contactores y protecciones termomagnéticas, con el propósito de proveer energía eléctrica solar a los componentes que así lo requieran.

Por lo tanto, se pudo cumplir con el objetivo general del proyecto, el cual trata sobre el diseño y puesta en marcha de un sistema de potencia para un sistema de refrigeración Peltier.

Con el fin de dimensionar el número de paneles solares fotovoltaicos, la potencia total del sistema, el regulador, el banco de baterías y cableado necesario para dar autonomía de 1 día de funcionamiento (3 horas diarias) a través de los acumuladores, se hicieron los cálculos y análisis necesarios para cumplir con estos objetivos.

Este proyecto es complementado por otros trabajos de grado que hacen parte integral de un proyecto final en el que se implementa un sistema de refrigeración autónomo, en el cual se conserva la cadena de frío en la realización de misiones médicas en las zonas no interconectadas del territorio colombiano

## **Introducción**

Con la actual problemática a nivel mundial sobre el calentamiento global y la conservación del medio ambiente, es importante promover el uso de energías alternativas que ayuden a mitigar el impacto ambiental y a su vez impulsar el uso de energías renovables para la generación de energía eléctrica.

La publicación de la resolución 180919 del Ministerio de Minas y Energía, en la que se presenta el plan de acción para desarrollar un programa sobre el uso racional de la energía (URE) y demás fuentes de energía no convencionales (FENC) en Colombia, busca contribuir a la solución de algunos de los problemas más importantes a los que se enfrenta la sociedad del siglo XXI: la dependencia del petróleo como principal fuente de energía y materia prima para muchos productos químicos, el carácter finito de este recurso natural, el impacto negativo sobre el medio ambiente de la generación de energía, y el desempleo y bajo desarrollo rural. (Rincón, 2010)

No todo el 100% del territorio nacional está cubierto por la red interconectada del sistema eléctrico colombiano. Por tal motivo, muchas zonas veredales donde habitan personas, en su gran mayoría de muy bajos recursos económicos, no poseen la oportunidad de acceder a los beneficios de la energía eléctrica.

Muchos hospitales y entidades de salud hacen sus pasantías rurales en zonas veredales dispersas no interconectadas por varias semanas al año. En dichas pasantías, el personal incluye en su utilería vacunas de gran importancia para la salud de las

personas que allí habitan, especialmente los niños. Dichas vacunas, en su mayoría, deben estar en una cadena de frío entre 2° C y 10° C. Por lo tanto, la importancia de tener a disposición energía eléctrica en la zona es crucial.

El fin de este proyecto es plantear una solución que ayude a la conservación de vacunas en las zonas no interconectadas haciendo uso de celdas Peltier alimentadas por energía solar fotovoltaica.

Las celdas fotovoltaicas continúan siendo la tecnología de generación de electricidad de más rápido crecimiento a nivel mundial. Entre el 2004 y el 2009 los sistemas fotovoltaicos conectados a la red mundial crecieron a una tasa del 60 % anual (AIE). La potencia total acumulada instalada en el 2009 es seis (6) veces mayores a la instalada en el 2004 (AIE).

En Colombia, el promedio de radiación solar está entre 4,5 kwh-m<sup>2</sup>/día y 5 kwh-m<sup>2</sup>/día (Atlas de radiación solar) el cual permite diseñar un sistema con la autonomía requerida para la cadena de frío en cualquier parte del territorio nacional. Además, se aporta a la conservación del medio ambiente, al ahorro económico y se impacta positivamente en el ámbito social, puesto que gran cantidad de personas van a tener acceso a medicamentos de calidad.

## **Capítulo 1**

### **Planteamiento del problema**

En búsquedas realizadas en la institución y varias entidades educativas se ha encontrado trabajos relacionados con energía solar, pero no uno similar donde se aplique el efecto Peltier para el enfriamiento de vacunas en zonas no interconectadas.

En las brigadas de salud las vacunas son transportadas en neveras portátiles convencionales (de playa), las cuales no conservan el frío durante largos periodos de tiempo, generando pérdidas de medicamentos y dinero. Además, arriesgando la salud de las personas que las necesitan.

De no mejorarse esta problemática, dichas brigadas no podrán cumplir su función eficientemente y tendrán que hacerse jornadas más cortas.

¿Será posible alimentar las celdas Peltier mediante el uso de baterías y paneles solares?

## **Capítulo 2**

### **Justificación**

La finalidad de este proyecto es diseñar un sistema de potencia fotovoltaico para alimentar un proceso de enfriamiento Peltier, con el fin de conservar la cadena de frío que requieren las vacunas y medicamentos vitales en las zonas no interconectadas.

Su importancia radica en que, durante la ejecución de las brigadas, se podrá mantener la temperatura deseada por las zonas dispersas del territorio nacional.

Este proyecto permitirá aplicar conocimientos adquiridos durante la formación académica; la institución tendrá reconocimiento por ser pionera en la utilización de energía fotovoltaica en el diseño de un sistema de refrigeración para la conservación de vacunas; la comunidad se verá altamente beneficiada puesto que no tendrá que desplazarse hacia las cabeceras municipales y podrán ser vacunados en sus lugares de residencia.

Este proyecto tendrá un impacto tecnológico porque se aprovechará la energía o radiación solar mediante paneles fotovoltaicos para generar refrigeración por largos periodos de tiempo, y social porque impactará a la población más vulnerable en zonas no interconectadas mejorando su calidad de vida.

## **Capítulo 3**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de potencia solar fotovoltaico de 1200 watts con el fin de alimentar el equipo de enfriamiento tipo Peltier para la conservación de vacunas en las zonas no interconectadas.

### **Objetivos específicos**

- Analizar y realizar los cálculos correspondientes para el funcionamiento seguro y estable del equipo de refrigeración solar tipo Peltier.
- Seleccionar los elementos y componentes adecuados en la instalación del sistema de potencia para el equipo de refrigeración solar tipo Peltier.
- Ejecutar y evaluar el montaje del sistema de potencia para el equipo de refrigeración solar tipo Peltier.

## Capítulo 4

### Referentes teóricos

#### 4.1 Efecto Peltier

El efecto Peltier fue descubierto en el año 1834 por el físico francés Peltier J. C. A. Surgió sobre la base del descubrimiento del físico alemán Seebeck T. J. en 1821, quien observó que, en un circuito formado por dos conductores distintos, cuyas uniones soldadas se encuentran en medios con temperaturas distintas, aparece entre ambos una diferencia de potencial.

El efecto Peltier consiste en el enfriamiento o calentamiento de una unión entre dos conductores distintos al pasar una corriente eléctrica por ella y que depende exclusivamente de la composición y temperatura de la unión. (Patterson G. -S., 2007).

En la ilustración 1 se puede apreciar los componentes de una celda Peltier.

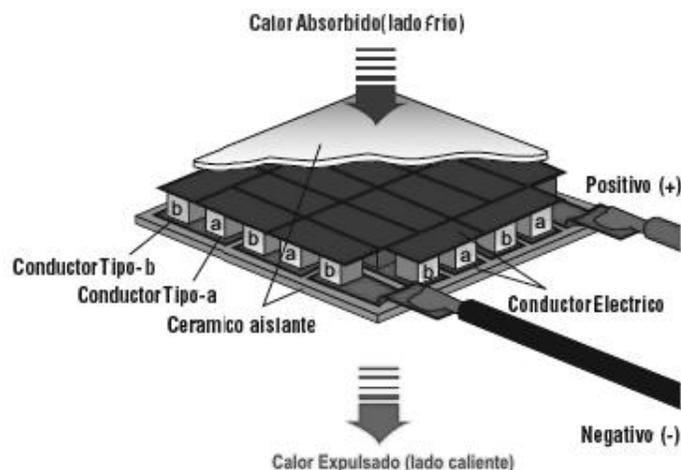


Ilustración 1. Dispositivo Peltier (Patterson G. -S., 2007)

## **4.2 Energía renovable**

Energía renovable es la que se aprovecha directamente de recursos considerados inagotables como el Sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor del interior de la Tierra (Energética, 1999)

## **4.3 Energía solar**

La energía solar se define como la energía producida por reacciones nucleares al interior del Sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio (radiación solar). (Energética, 1999)

## **4.4 Radiación solar en la Tierra**

El Sol irradia energía a una tasa de  $3.9 \times 10^{23}$  vatios y perpendicularmente, sobre la parte superior de la atmósfera, nuestro planeta recibe una radiación solar promedio de 1367 vatios por cada metro cuadrado.

Las variaciones en la cantidad de radiación solar recibida dependen de los cambios en la distancia al Sol como consecuencia de la órbita elíptica que recorre la tierra alrededor del mismo. Otras variaciones son ocasionadas por pequeñas irregularidades en la superficie solar en combinación con la rotación del sol y posibles cambios temporales de su luminosidad. La radiación solar directa no tiene cambios en su dirección desde el sol hasta la superficie terrestre. Una vez dentro del planeta, las

características físicas y la composición química de la atmósfera afectan la cantidad y el tipo de radiación que alcanza la superficie, razón por la cual, durante períodos de abundante nubosidad o bruma, la radiación que incide es esencialmente dispersada por partículas y moléculas del aire (radiación difusa). (UPME, 1999)

#### 4.4.1 Cantidad de radiación solar

Para conocer la cantidad de energía que se puede obtener del Sol, es necesario medir la cantidad de radiación solar (directa más difusa) que recibe realmente una región. Esta cantidad de radiación disponible para convertir en energía útil en una localidad depende de varios factores: posición del Sol en el cielo, que varía diaria y anualmente; condiciones atmosféricas generales y del microclima; altura sobre el nivel del mar y la duración del día (época del año). La máxima cantidad disponible sobre la superficie de la tierra en un día claro, fluctúa alrededor de 1 000 vatios pico por metro cuadrado. (UPME, 1999)

En la tabla 1 se puede apreciar la radiación solar según el tipo de cielo

*Tabla 1. Radiación solar según el tipo de cielo*

TIPO DE CIELO	RADIACIÓN SOLAR en W/m <sup>2</sup>
Constantemente nublado	Menos de 300
Nubosidad media	Entre 300 y 400
Nubosidad mínima	Entre 400 y 500
Cielo despejado	500 en adelante

## **4.5 Energía solar en Colombia**

Durante el año de 1992, el antiguo HIMAT y el INEA realizaron el primer Atlas de radiación solar de Colombia, tomando series anuales durante el periodo de 1980 a 1990, de 203 estaciones, así se establecieron niveles de radiación promedio anual diaria en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>). En general, el potencial solar en el país es alto, y tiene la enorme ventaja de que la radiación solar es uniforme durante el año.

Zona del Magdalena, La Guajira y San Andrés y Providencia: entre 5 y 6 kWh/m<sup>2</sup>

Zona de los departamentos de Casanare, Arauca, Guainía, Guaviare, Amazonas, Putumayo y Vaupés: entre 4 y 5 kWh/m<sup>2</sup>

Zona costera del Pacífico: las menores radiaciones inferiores a 3 kWh/m<sup>2</sup>.

(UPME, 1999)

## **4.6 Energía solar fotovoltaica**

La luz del Sol se puede convertir directamente en electricidad mediante celdas solares, conocidas también como celdas fotovoltaicas, que son artefactos que utilizan materiales semiconductores. La corriente eléctrica puede ser utilizada inmediatamente o puede ser almacenada en una batería para utilizarla cuando se necesite. Una celda fotovoltaica típica puede ser cuadrada y medir 10 centímetros por lado y producir cerca de 1 vatio de electricidad, más que suficiente para que un reloj de pulsera funcione, pero

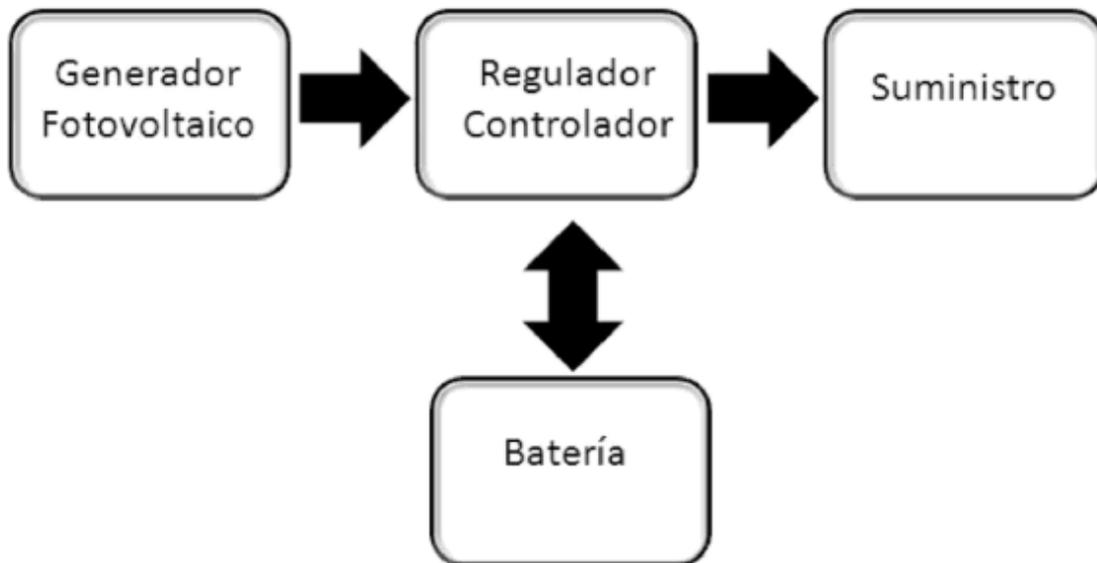
no para encender un radio. Las celdas individuales se ensamblan para formar módulos (40 celdas); si se necesita generar más electricidad los módulos se agrupan para formar lo que se conoce como arreglo (10 módulos). (UPME, 1999)

#### **4.6.1 Instalación solar fotovoltaica aislada**

Un sistema fotovoltaico aislado o autónomo se trata de un sistema auto abastecedor, ya que aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica necesaria en el suministro de una instalación.

Para entenderlo mejor, en la ilustración 2 se muestra un sistema fotovoltaico, formado por:

- El generador fotovoltaico que proporciona la tensión/corriente encargada de mantener la carga de la batería.
- La batería que será la encargada de proporcionar energía a la instalación, cuando la irradiación solar sea escasa o nula.
- El regulador que se encarga del control del estado de la carga de la batería, adaptando los diferentes ritmos de producción y la demanda de energía.
- El suministro que hace referencia a la instalación que debe alimentar el sistema fotovoltaico. (Aparicio, 2010)



*Ilustración 2. Sistema aislado fotovoltaico (Aparicio, 2010)*

#### **4.7 Módulos fotovoltaicos**

Denominado panel solar o modulo fotovoltaico, su principal función es la de proporcionar energía a la instalación a partir de la irradiación solar, aprovechando el efecto fotoeléctrico.

Un módulo fotovoltaico está formado por la interconexión de varias células solares en serie y/o paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente, puesto que cada célula puede suministrar del orden de 0,5 Volts. Para los paneles de uniones de silicio y con conexiones de células en serie, los valores de tensión por números de células rondan las 36 células para 12 Volts y 72 células para 24 Volts. (Aparicio, 2010).

#### 4.7.1 Tipos de paneles o módulos

Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.

Las células se fabrican mediante la cristalización del silicio, por lo que se encuentran dos tipos principales (los más utilizados):

**Monocristalino:** presenta una estructura cristalina completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro. Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica.



*Ilustración 3. Panel solar de silicio monocristalino (Aparicio, 2010)*

**Policristalino:** presenta una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento. Se obtiene de la misma forma que el monocristalino, pero con menos fases de cristalización (combinación de átomos). Se reconoce porque en su superficie se distinguen

distintos tonos de azules y grises metálicos. (Aparicio, 2010)



*Ilustración 4. Panel solar de silicio policristalino (Aparicio, 2010)*

#### **4.8 Características eléctricas**

Para la realización de los cálculos se deben tener en cuenta las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Es decir, que se extraen de sus fichas técnicas.

Para ello hay que consultar la denominada curva  $V-I$ , ya que representa la relación entre la tensión y la corriente entregada del panel a partir de unos valores de irradiación o, en su defecto, se indicarán ciertos parámetros que sirven para definirla. Los parámetros que la definen son:

**Intensidad de cortocircuito:** denominada como  $I_{SC}$ , es la máxima intensidad que se puede obtener en un panel o módulo fotovoltaico. Se calcula midiendo la corriente entre los bornes del panel cuando se provoca un cortocircuito (tensión de salida de 0 Volts).

**Tensión en circuito abierto:** denominada como  $V_{OC}$ , es el valor máximo de voltaje que se mediría en un panel o módulo si no hubiese paso de corriente entre los bornes del mismo (intensidad de 0 amperios).

**Tensión nominal:** denominada como  $V_N$ , es el valor de diseño al que trabaja el panel o modulo fotovoltaico. Por ejemplo: 12, 24 o 48 Volts.

**Potencia máxima:** denominada como  $P_M$ , es el valor máximo de potencia que se obtiene entre el producto de la corriente por la tensión de salida del módulo fotovoltaico. Se trata del valor máximo que se puede obtener del panel o módulo fotovoltaico. También se denomina potencia de pico del panel; este último término es el más utilizado para los cálculos de una instalación conectada a la red.

**Tensión máxima:** denominada como  $V_M$ , se corresponde con el valor de tensión para la potencia máxima. Se trata aproximadamente del 80% de la tensión en circuito abierto. En algunos casos se indica como  $V_{MP}$  (de potencia máxima).

**Corriente máxima:** denominada como  $I_M$ , se corresponde con el valor de corriente para la potencia máxima. En algunos casos se indica como  $I_{mp}$ .

En la ilustración 5 se muestra las indicaciones de los parámetros descritos indicados sobre la curva V-I. De igual forma, en la parte derecha se muestran los valores de dichos parámetros. Así, cuando consultemos la documentación de un módulo fotovoltaico encontraremos los datos de una u otra manera o, incluso, de

ambas. (Aparicio, 2010)

En la ilustración 6 se muestra la curva V-I con variaciones de irradiación y en la ilustración 7 se muestra la curva V-I con variación de temperatura.

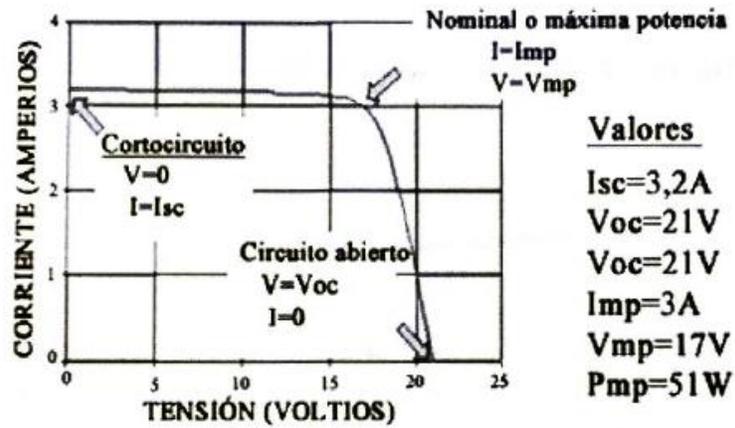


Ilustración 5. Curva V-I de un panel fotovoltaico (Aparicio, 2010)

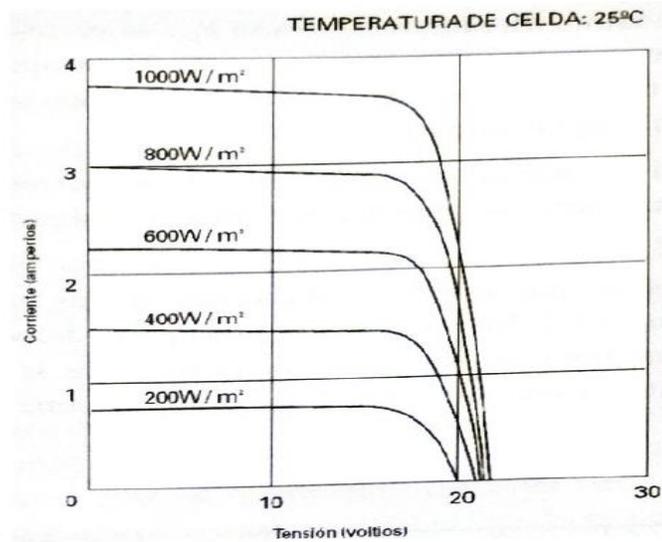


Ilustración 6. Curva V-I con variaciones de irradiación (Aparicio, 2010)

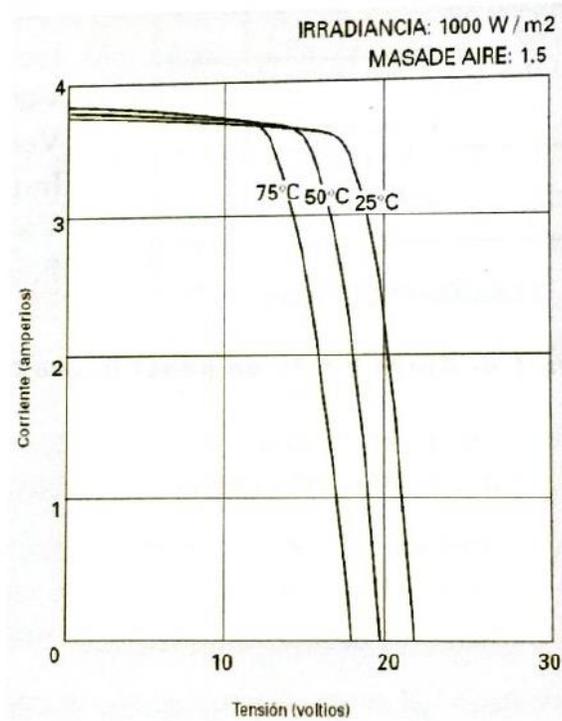


Ilustración 7. Curva V-I con variación de temperatura (Aparicio, 2010)

#### 4.9 Eficiencia del módulo

La eficiencia es el cociente entre la potencia eléctrica producida por el módulo y la irradiación incidente sobre el mismo. Es decir, es el cociente entre la potencia máxima ( $P_M$ ) de la celda con la potencia luminosa ( $P_L$ ) recibida por la célula, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{V_M \cdot I_M}{P_L}$$

Ecuación 1. Eficiencia del módulo

Donde:

$P_M$  = Potencia máxima.

$P_L$  = Potencia luminosa.

$V_M$  = Tensión máxima.

$I_M$  = Corriente máxima.

En la tabla 2 se muestra los valores de eficiencia en relación al material con el que se ha fabricado el módulo fotovoltaico. (Aparicio, 2010)

Tabla 2. Relación material y eficiencia panel fotovoltaico

<b>Tecnología</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
<i>Silicio monocristalino</i>	14-16
<i>Silicio policristalino</i>	10-12
<i>Silicio amorfo</i>	6-8

#### 4.10 Energía generada por un panel

Para el cálculo se debe tener en cuenta la energía que genera un panel solar ( $E_{panel}$ ) durante un día, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$E_{Panel} = I_{Panel} \cdot HPS \cdot \eta_{Panel} [Ahd]$	<i>Ecuación 2. Energía generada por un panel</i>
--	--

En donde la  $I_{panel}$  se corresponde con la corriente de pico o corriente máxima,

HPS se corresponde con las horas de pico solar (horas de suficiente irradiación solar) y  $n_{panel}$  se corresponde con el rendimiento del panel.

En el rendimiento del panel se puede escoger valores típicos entre el 85% al 95%. Como norma general se escoge un rendimiento general del 90%, por lo que se multiplica por 0,9, quedando la ecuación como:

$$E_{Panel} = 0,9 \cdot I_{Módulo} \cdot HPS [Ah/día] = 0,9 \cdot I_M \cdot HPS [Ahd]$$

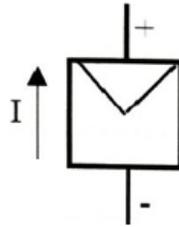
Para el cálculo de la energía generada por un campo fotovoltaico ( $E_{campo\ fotovoltaico}$ ) se tendría en cuenta la corriente generada por todo el campo fotovoltaico ( $I_{campo\ fotovoltaico}$ ), quedando la ecuación como:

$$E_{Campo, fotovoltaico} = 0,9 \cdot I_{Campo, fotovoltaico} \cdot HPS [Ahd]$$

La corriente del campo fotovoltaico se calcularía mediante el valor de la corriente de pico o corriente máxima, tras la asociación de todos los módulos fotovoltaicos que forman la instalación. (Aparicio, 2010)

#### 4.11 Símbolo

El símbolo de una celda solar o de un módulo fotovoltaico se puede encontrar representado como en la ilustración 8, la cual indica el sentido de la corriente eléctrica generada (I), así como la polaridad de las conexiones. (Aparicio, 2010)



*Ilustración 8. Símbolo utilizado para una celda o módulo fotovoltaico (Aparicio, 2010)*

#### **4.12 Asociación en serie y paralelo**

En la mayoría de las instalaciones, dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varios paneles en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente adecuados.

**Nota:** como norma general no se conectarán entre sí módulos de distintas características y, en la medida de lo posible, serán del mismo fabricante.

Para la asociación de módulos fotovoltaicos hay tres posibilidades:

**Paralelo:** se conectan todos los polos positivos y, por separado, todos los polos negativos. Con ello se consigue aumentar la corriente generada y mantener un mismo valor de tensión como se evidencia en la ilustración 9.

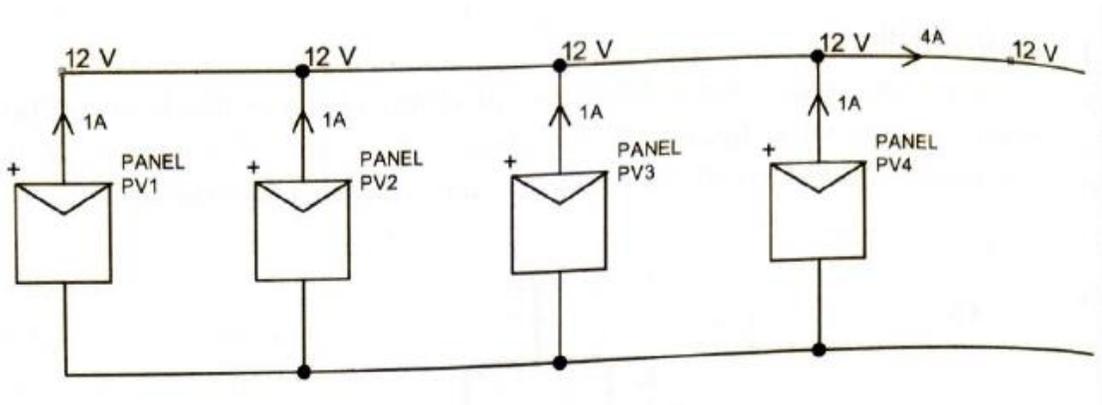


Ilustración 9. Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos (Aparicio, 2010)

**Serie:** se conecta un polo positivo de un módulo negativo con el polo negativo del siguiente. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada como se evidencia en la ilustración 10.

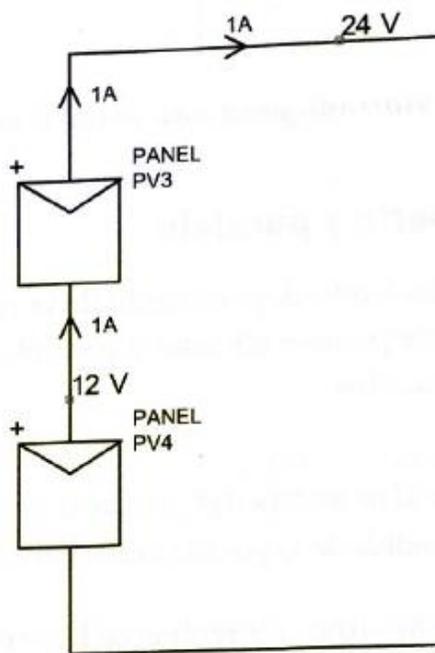
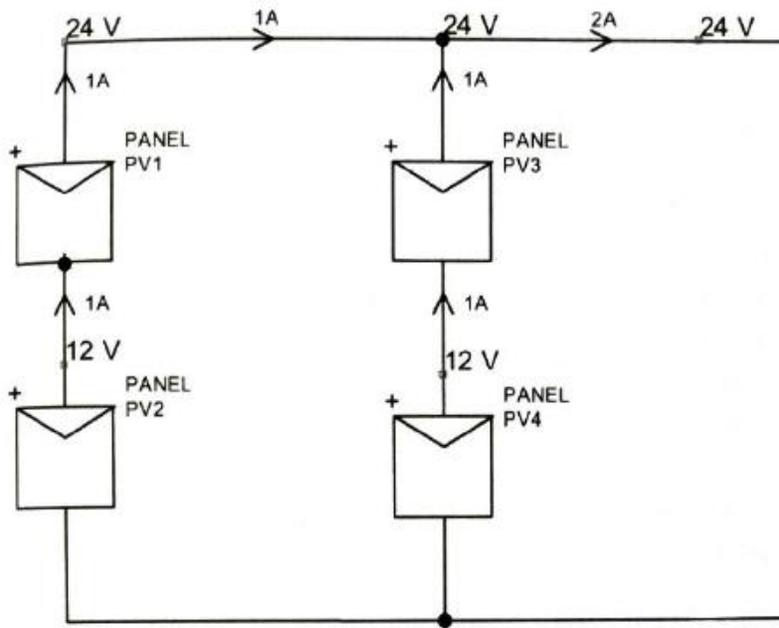


Ilustración 10. Conexión en serie de módulos fotovoltaicos (Aparicio, 2010)

**Mixto:** se encuentran asociados tanto en serie como en paralelo. Se muestra un ejemplo en la ilustración 11, con 4 módulos fotovoltaicos de 12 voltios y 1 amperio conectados en dos ramas de dos módulos en serie, para suministrar 24 voltios y 2 amperios. (Aparicio, 2010)



*Ilustración 11. Conexión mixta de módulos fotovoltaicos (Aparicio, 2010)*

#### 4.13 Batería

Las más utilizadas son las baterías denominadas estacionarias, que se utilizan también como sistemas de alimentación ininterrumpida (alumbrado de emergencia, señalización, etc.). La principal característica es que son capaces de permanecer largos periodos de tiempo totalmente cargadas y, además, son capaces de resistir descargas profundas de forma esporádica.

En determinadas instalaciones, donde la potencia de consumo no es muy elevada, se utilizan baterías de arranque (como en vehículos) o monobloc. Suele ser en pequeñas instalaciones (por ejemplo, varios puntos de luz o pequeñas instalaciones de riego), siempre para potencias inferiores a 170 vatios en el conjunto de módulos fotovoltaicos. (Aparicio, 2010)

#### 4.13.1 Tipos de baterías

Las baterías más adecuadas para sistemas fotovoltaicos son las de plomo ácido, las cuales se pueden simplificar en los tres tipos siguientes:

**Estacionarias monobloc:** como su propio nombre lo indica, está formada en un solo bloque; es decir, no es necesario asociarlas para obtener los 12 volts y son de menor capacidad que las translúcidas o herméticas de un vaso o célula. Se utilizan en pequeñas instalaciones de poca potencia. Como se observa en la ilustración 12, suelen tener un tamaño mayor que las utilizadas en vehículos, pero eso dependerá de la capacidad de la batería.



Ilustración 12. Batería monobloc (solar, 2019)

**Estacionarias translucidas o transparentes:** son baterías que se encuentran separadas en células, pero el material que lo cubre permite ver el interior de la batería (transparente) o no translúcidas. Como son baterías de un vaso o célula su tensión es del orden de 2,2 Volts, razón por la cual es necesario conectarlas en serie para obtener tensiones mayores. Así pues, se necesitan 6 baterías para obtener los 12 Volts.

La diferencia entre transparentes y translucidas es que el recipiente deja ver su interior y el paso de la luz a su interior. Este tipo de baterías son de mayor tamaño y peso que las monobloc. También, suelen ser distribuidas sin el electrolítico (ácido) para facilitar su instalación y deben ser rellenadas después de su colocación.

En la ilustración 13 se puede apreciar que la batería es translúcida o transparente.



*Ilustración 13. Batería estacionaria transparente (ingenierosgema@gmail.com, 2012)*

**Estacionarias herméticas:** son las denominadas también como sin mantenimiento; no se tiene acceso a su interior, aunque sus características son las mismas, en relación con los materiales activos y las reacciones de carga y descarga. En la ilustración 14 se aprecia que este tipo de baterías pueden ser selladas gelificadas, presentan como característica que el electrolítico es mucho más denso, por lo que no se derraman y pueden montarse en cualquier posición.

Para conseguir esta densidad debe añadirse dióxido de silicio. Este tipo de baterías no requiere mantenimiento de recarga del líquido de su interior, pero no tienen un buen comportamiento ante descargas profundas. Que se denominen sin mantenimiento no indica que no requieran ningún tipo de mantenimiento, sino que deben ser sometidas a tareas de limpieza, control y recargas adicionales.



*Ilustración 14. Hermética sin mantenimiento (ENERSYS, 2019)*

Otro tipo de batería que se utiliza en algunas instalaciones fotovoltaicas son las de níquel cadmio. Reciben esta denominación debido al material del cátodo, que es níquel hidratado y del ánodo, que es cadmio. Se trata de baterías recargables de tipo alcalino, ya que usan hidróxido potásico de electrolito.

La tensión nominal de las baterías níquel cadmio es de 1,2 Volts, por lo que para conseguir la tensión de 12 volts se necesitarán 10 baterías.

El uso de baterías de níquel cadmio en sistemas fotovoltaicos aislados se centra en instalaciones que requieran un alto nivel de fiabilidad (la tensión de la batería se mantiene prácticamente constante durante la descarga, hasta que se alcanza el 90% de la descarga) o que trabajen a temperaturas muy extremas (resiste muy bien a bajas temperaturas, incluso ante la congelación del electrolito, que cuando se recupera temperatura vuelve a funcionar normalmente).

Pero son mucho más caras que las de plomo ácido y sus componentes son altamente tóxicos para el medioambiente. (Aparicio, 2010)

#### **4.13.2 Capacidad**

Se define como capacidad de una batería a la cantidad de electricidad que puede suministrar y se mide en amperios por hora (Ah). Los parámetros que definen la capacidad de la batería son: duración de descarga, intensidad de descarga, temperatura y tensión final.

La capacidad de una batería se determina en función de la duración de descarga y dicho valor es proporcionado por el fabricante para una duración de 10 horas ( $C_{10}$ ); a dicho valor se lo denomina capacidad nominal ( $C_N$ ). (Aparicio, 2010)

La expresión genérica se muestra a continuación:

$I_N(A) = \frac{C_N(Ah)}{\text{Duración.descarga}(h)}$	<i>Ecuación 3. Capacidad de una batería</i>
--	---

En la tabla 3 se aprecia la relación capacidad – temperatura de las baterías

*Tabla 3. Relación capacidad - temperatura*

Temperatura (°C)	Capacidad (%)	Eficiencia
30	105	1,05
25	100	1,00
16	90	0,90
4	77	0,77
-7	63	0,63
-18	49	0,49

#### 4.13.3 Profundidad de descarga

Se denomina profundidad de descarga al porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga o descarga. Dependiendo de este valor se pueden clasificar las baterías en:

**Descargas superficiales:** aceptan descargas del 20% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería.

**Descargas profundas:** aceptan descargas del 80% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería.

Para aplicaciones fotovoltaicas se emplean baterías de descarga profunda ya que en algunas instalaciones deben soportar el consumo durante varios días.

Este valor será facilitado por el fabricante. Si no lo proporciona el fabricante, se suele escoger un valor intermedio del 60% o 70% para realizar los cálculos correspondientes. (Aparicio, 2010)

#### **4.13.4 Vida útil**

La vida útil se mide en ciclos, que se definen como el número de veces que se produce la carga y la descarga. Es decir, con cada carga y descarga (ciclo) la batería va perdiendo propiedades, así pues, contra más ciclos entonces más envejece la batería, disminuyendo la capacidad máxima que pueda alcanzar la batería.

Cuanto mayor sea la descarga (disminución de la capacidad) menor será el número de ciclos y, por lo tanto, menor será la vida útil. (Aparicio, 2010)

#### 4.13.5 Símbolo

En la ilustración 15 se muestra el símbolo más importante o habitual utilizado para representar: una pila, un acumulador o una batería de pilas.

Es opcional, añadir al símbolo, los signos de polaridad: polo positivo (+) y polo negativo (-), puesto que el propio símbolo ya los diferencia, siendo el trazo más largo el que representa al polo positivo, y el trazo corto el que representa al polo negativo. (Aparicio, 2010)



*Ilustración 15. Símbolo de pila, acumulador o célula (Aparicio, 2010)*

#### 4.14 Regulador de carga

El regulador es el encargado de controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Las principales tareas que realiza son:

**Evita sobrecargas en la batería:** que una vez cargada la batería ( $EDC = 100\%$ ) no continúe cargando. Así se evita la generación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería; en consecuencia, aumenta la vida útil de la misma.

### **Impide la sobredescarga de la batería en los periodos de luz solar**

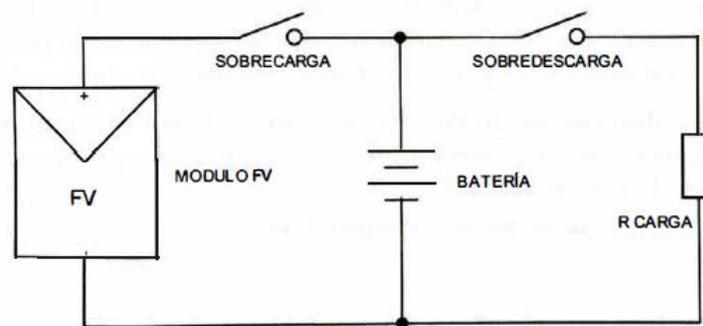
**insuficiente:** cuando una vez la batería esté descargada no continúe suministrando corriente a la instalación; en consecuencia, aumenta la vida de la batería.

Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia.

Existen dos tipos de reguladores: paralelo o *shunt* y serie. En instalaciones de baja potencia se utilizan los reguladores paralelo o shunt, y para potencias mayores los reguladores serie. Esto es así porque para tensiones mayores se necesita unos disipadores de potencia para los dispositivos de control de potencia de mayor tamaño, ya que deben soportar mayores niveles de intensidad. (Aparicio, 2010)

#### **4.14.1 Regulador serie**

El funcionamiento de este regulador es el de cortar el suministro de energía del generador antes de que alcance la tensión máxima de la batería; es decir, cortar antes de que se llegue al nivel de sobrecarga. (Aparicio, 2010) En la ilustración 16 se aprecia el esquema del regulador serie.



*Ilustración 16. Regulador serie (Aparicio, 2010)*

En la ilustración 17 se muestra el bucle de control de cada interruptor, en donde  $V_{sc}$  es el valor máximo de tensión que el regulador permite que alcance la batería,  $V_{rc}$  es la denominada tensión de histéresis que reinicia el proceso de recarga de la batería,  $V_{sd}$  es el valor mínimo de tensión a partir del cual corta el consumo (corta la corriente a la carga) y  $V_{rd}$  es el valor de tensión a partir del cual reconecta el consumo (reconecta la corriente hacia la carga). (Aparicio, 2010)

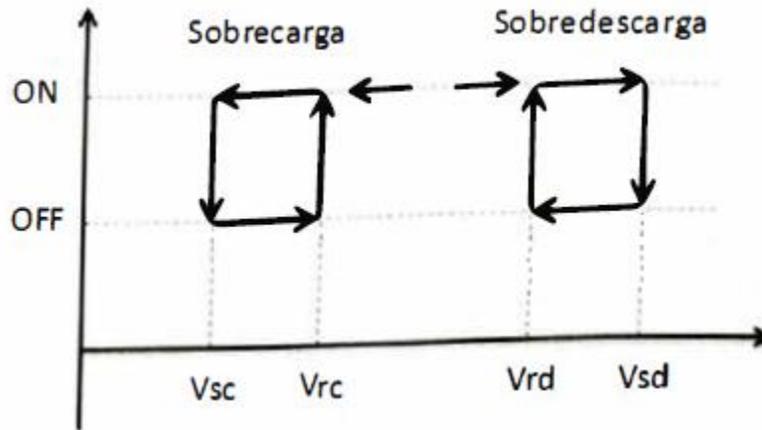


Ilustración 17. Bucle de control (Aparicio, 2010)

#### 4.14.2 Regulador paralelo

El funcionamiento de este regulador es disipar potencia, con el fin de eliminar el exceso de energía generada. Consiste en un transistor situado en paralelo con el generador fotovoltaico, tal y como podemos observar en la ilustración 18 y 19 respectivamente. (Aparicio, 2010)

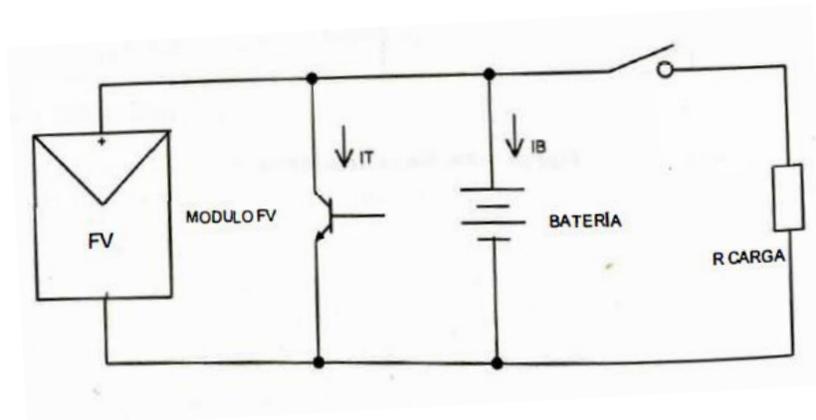


Ilustración 18. Regulador paralelo (Aparicio, 2010)

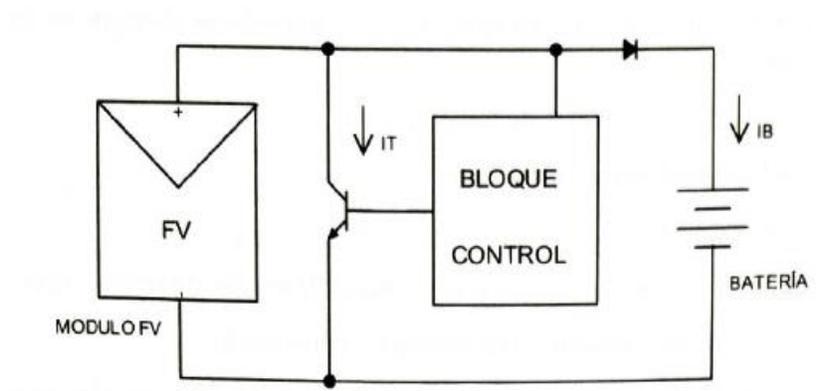


Ilustración 19. Regulador paralelo con bloque de control (Aparicio, 2010)

#### 4.15 Contactor

Se define contactor como un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes eléctricas en condiciones normales de un circuito, incluso las de sobrecarga.

Para accionar un contactor se pueden utilizar distintas energías: mecánica,

magnética, neumática, hidráulica, etc. Los contactores más utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina, y a ellos se refiere el presente proyecto.

Un contactor accionado por energía magnética, consta de un núcleo magnético (núcleo y armadura) y de una bobina que genera un campo magnético capaz de vencer las fuerzas de los muelles que mantienen separadas las dos partes del núcleo, una de estas partes, generalmente la armadura, está unida solidariamente al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos. (Adrián, 2009) En la ilustración 20 se puede apreciar las partes que componen un contactor.

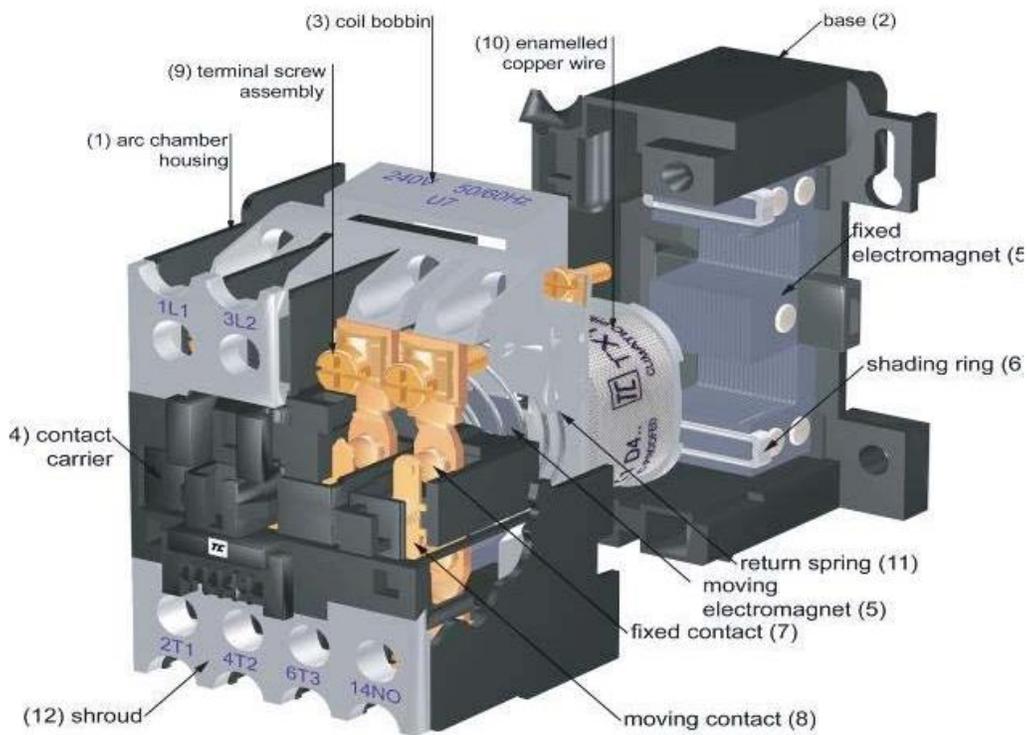


Ilustración 20. Contactor.

Donde:

- 1- Carcasa de la cámara de arco
- 2- Base
- 3- Espiral de la bobina
- 4- Portador de contacto
- 5- Electroimán fijo
- 6- Anillo de sombra
- 7- Contacto fijo
- 8- Contacto móvil
- 9- Conjunto de tornillo terminal
- 10- Alambre de cobre esmaltado
- 11- Muelle de retorno en movimiento
- 12- Sudario

#### **4.16 Protección termomagnética**

##### **Interruptor general automático**

De accionamiento manual de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Será el encargado de proteger la derivación individual contra sobrecargas. Se utilizará como desconectador general de la instalación interior y será de corte omnipolar (corte de todos los conductores activos).

##### **Interruptor diferencial**

Es el encargado de proteger a personas y cosas contra los contactos directos e indirectos. Su intensidad nominal deberá estar por encima de la máxima prevista a demandar por los circuitos que se derivan de él. Deberá resistir las corrientes de cortocircuito que puedan presentarse en el punto de su instalación.

La elección de la sensibilidad en cada caso viene determinada por la condición de que el valor de la resistencia a tierra de las masas, medida en cada punto de conexión de las mismas, debe cumplir la relación:

$R_s \leq \frac{U_b}{I_f}$	<i>Ecuación 4. Interruptor diferencial</i>
----------------------------	--

Donde:

$R_s$  = Resistencia de tierra en ohmios.

$U_b$  = Potencial de toque en V.

$I_f$  = Corriente nominal de fuga en A.

$U_b = 50$  V en locales o emplazamientos secos.

$U_b = 24$  V en locales o emplazamientos húmedos o mojados.

$I_f$  podrá variar, siendo los valores habituales hasta 30 mA, protección para contactos directos e indirectos más de 30 mA serán aptos solo para proteger contra contactos indirectos.

En el caso de instalaciones interiores o receptoras de gran complejidad o extensión se recomienda utilizar interruptores diferenciales ubicados en distintos lugares (en cascada); de modo que puedan actuar selectivamente. (Calderón, 2010)

## Capítulo 5

### Metodología

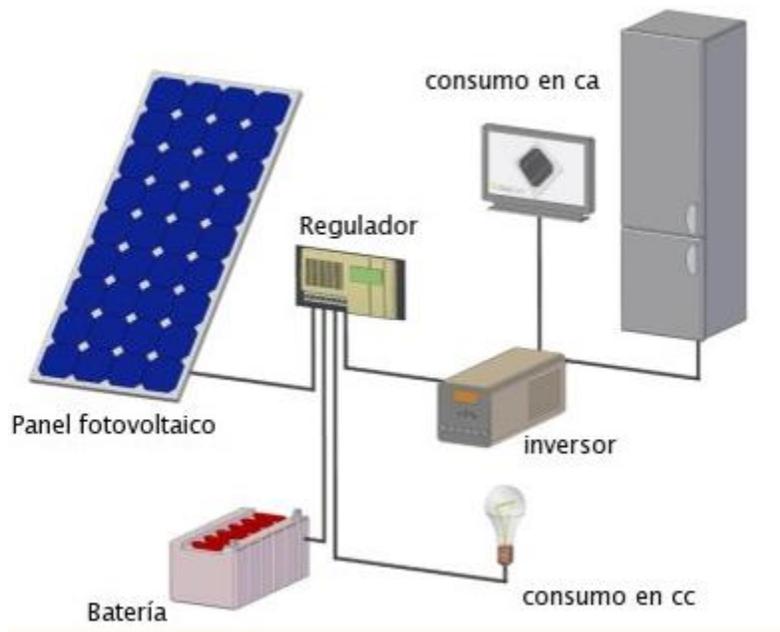
Este proyecto consta del diseño del sistema de potencia para alimentar un montaje previo de un sistema de refrigeración autónomo tipo Peltier.

A continuación, se presentan los procedimientos tenidos en cuenta para el diseño e implementación de este proyecto. Cabe recalcar que se utilizaron las leyes de Ohm y de Watts para los cálculos respectivos, entre otros.

En la ilustración 21 se aprecia el esquema de una instalación solar aislada o autónoma, la cual consta de los siguientes elementos:

- Panel solar
- Regulador
- Batería
- Convertidor o inversor

***Nota: el inversor se utiliza cuando se requiere alimentar algún elemento con energía alterna.***



*Ilustración 21. Esquema instalación solar aislada.*

El esquema nos dice que el primer paso a tener en cuenta es el generador de energía, en este caso es el módulo o panel fotovoltaico.

### **5.1 Panel fotovoltaico**

La Institución universitaria Pascual Bravo cuenta con 4 paneles fotovoltaicos instalados en la zona de la piscina.

Las características eléctricas de cada panel se aprecian en la tabla 4:

Tabla 4. Características eléctricas panel solar mtek



Potencia(WP) :	300W
	36.6V
Corriente de potencia máx. (Imp)	8.19A
Voltaje de corto circuito (Voc)	44.8V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.85A
Tensión máxima del sistema (VDC)	1000V(IEC),600V(UL)
Eficiencia del módulo	17.10%

Con estos datos, se hará el cálculo correspondiente con el fin de determinar cuántas horas de uso es capaz de soportar los paneles instalados para suplir la demanda requerida por el sistema de refrigeración solar tipo Peltier.

La potencia de cada elemento del sistema se describe en la tabla 5:

Tabla 5. Carga instalada en el sistema

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Días de uso / semana	Energía (Wh/día)
CELDAS PELTIER	2	537,6	3	1	3225,6
Tira LED	1	1,2	3	1	3,6
Ventiladores	2	4,32	3	1	25,92
Sistema de bombeo	2	86,4	3	1	518,4
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
<b>Total consumos DC</b>					<b>3773,52 Wh/día</b>

Para calcular la potencia o carga total instalada se utilizará la ecuación 5.

$P = I \cdot V$	<i>Ecuación 5. Potencia Ley de Watts</i>
-----------------	--

Teniendo en cuenta que el voltaje nominal del sistema es 24 VDC, se calcula el amperaje total mediante la ley de Watts en la ecuación 6.

$I = \frac{P}{V}$	<i>Ecuación 6. Corriente Ley de Watts</i>
-------------------	---

Con la ecuación 7 podemos hallar voltaje.

$V = \frac{P}{I}$	<i>Ecuación 7. Voltaje Ley de Watts</i>
-------------------	---

P = Potencia    I = Amperaje    V = Voltaje

Al saber la potencia y corriente total del sistema, procedemos a calcular el número de paneles necesarios con la ecuación 8:

$\frac{\frac{Wh/día}{Voltaje del sistema}}{Imp \cdot HSP} = [Número de paneles]$	<p><i>Ecuación 8. Cálculos de paneles</i></p>
--	---

Donde:

Imp = Corriente de potencia máxima

HSP = Horas pico solar

Para lo anterior, primero se debe conocer el rendimiento global (pérdidas totales) de la instalación mediante la ecuación 9:

$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot \left[ 1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_d} \right]$	<p><i>Ecuación 9. Rendimiento global del sistema</i></p>
--	--

Donde:

$K_A$ : pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería dada a los 20°C. Esta pérdida suele venir en las hojas de característica dadas por el fabricante de la batería, su valor por defecto es del 0,5%.

$K_B$ : pérdidas debido al rendimiento de la batería que, por Jo general, tiene un valor del 5%, pero puede escogerse un valor del 10% para viejos acumuladores o fuertes

descargas o bajas temperaturas.

$K_C$ : pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado (si lo hay), es decir, principalmente en instalaciones de 230 volts. Los valores por defecto suelen oscilar entre el 80% y el 95%, por lo que las pérdidas oscilarán entre el 20% y el 5%.

$K_R$ : pérdidas debido al rendimiento del regulador empleado. Suele depender de la tecnología utilizada, pero si no se conoce se escoge el valor por defecto del rendimiento de 90%, por lo que las pérdidas serán de un 10%.

$K_X$ : otras pérdidas no contempladas (por el efecto Joule, caídas de tensión, etc.); se escoge un valor por defecto del 10%.

$D_{aut}$  : días de autonomía con baja o nula insolación.

$P_d$  : profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante de las baterías; por defecto se escoge un valor del 60% o 70%.

$$K_T = (1-(K_b-K_c-K_r-K_x)) * (1-(K_a * D_{aut}) / P_d)$$

No obstante, se debe contar con otros factores como la ubicación geográfica (latitud), la inclinación y las condiciones climáticas para saber cuántas horas de radiación directa recibe los paneles instalados en la ciudad de Medellín.

Se consulta el mapa de radiación solar colombiano suministrado por el IDEAM,

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>, con el propósito de saber cuál es la hora pico solar (HSP) del lugar donde se hará el montaje. Siempre se debe considerar el mes de menor radiación.

El mapa nos muestra que el mes con menor radiación sobre Medellín es abril, con un total de 4,1 horas.

Previamente, en una tabla de Excel (anexo) se realiza el cálculo correspondiente, verificando a que grado de inclinación del panel se recibe por más tiempo la radiación directa del sol sobre el panel.

## **5.2 Regulador**

Debido al número de paneles instalados con los que cuenta la universidad, solo se puede utilizar el sistema por 3 horas diarias. Con base a esto, se procede a calcular el regulador necesario para suplir la demanda del sistema.

Los datos a tener en cuenta son los siguientes:

- La *Imp* de los paneles
- Número de paneles instalados
- Factor de seguridad del 10%

Además, la fórmula para calcular el regulador es la siguiente:

$Regulador = (I_{imp} * \text{número de paneles} * 1,1) = A$	<i>Ecuación 10. Regulador</i>
--	-------------------------------

### 5.3 Banco de baterías

Con el fin de seleccionar el banco de baterías más óptimo para el sistema ensamblado con anterioridad, se debe acoplar a la siguiente fórmula:

$C_{bateria} \geq \frac{Potencia_{máxima} * Días_{autonomía}}{Profundida_{descarga}} / Voltaje_{nominal}$	<i>Ecuación 11. Banco de baterías</i>
---	---------------------------------------

Capacidad de la batería = ((Potencia total (incluida las pérdidas) \* Días de autonomía) / Profundidad de descarga) / Voltaje del banco de baterías

### 5.4 Contactores

Se utilizará la ley de Watts para hacer el cálculo y selección correcta de los contactores para las celdas Peltier y las bombas de agua.

$$I = \frac{P}{V}$$

## 5.5 Protecciones termomagnéticas

Las protecciones termomagnéticas se seleccionarán con base a la corriente total instalada. Además, se protegerá las celdas Peltier y el sistema de bombeo con protección individual.

## 5.6 Cableado

Con base a la información y cálculos realizados en el apartado 5.1, se procede a seleccionar el tipo de cable adecuado para realizar el conexionado del sistema de potencia.

También, se debe tener en cuenta la ecuación 12 y un catálogo de cables de una empresa certificada como lo es Centelsa:

$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{k \cdot U} [mm^2]$	<i>Ecuación 12. Cableado</i>
--	------------------------------

Para el cálculo de la sección de un cable se debe conocer: el material que lo compone (cobre o aluminio y su conductividad  $-k-$ ), la longitud del cable ( $l$ ) en metros, la corriente que atravesará el conductor ( $I$ ) en amperios y la caída de tensión entre sus extremos ( $U$ ).

El valor de la conductividad ( $k$ ) dependerá del material utilizado:

- **Cobre:**  $56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$
- **Aluminio:**  $35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

## Capítulo 6

### Análisis y Resultados

La energía solar fotovoltaica puede llegar a ser una alternativa muy viable en las zonas apartadas y no interconectadas del país a medida que va avanzando el desarrollo de los materiales necesarios para su funcionamiento. Cada avance, cada mejora en el progreso de los paneles o módulos fotovoltaicos son un adelanto importante para reducir su tamaño y mejorar cada vez más su eficiencia.

A medida que se fue avanzando y ahondando más en el proyecto, se pudo adaptar los elementos que ya se tenían instalados previamente (paneles, regulador, baterías) con el fin de encontrar la máxima eficiencia y proveer el mayor tiempo posible la generación de energía eléctrica para el sistema de refrigeración sin invertir más dinero en la compra de nuevos elementos.

Lo primero que se tuvo en cuenta fue investigar a fondo el funcionamiento y características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.

España ha sido un país líder en la implementación de sistemas solares en todo su territorio nacional. Han publicado libros, artículos, revistas y tutoriales de cómo es el funcionamiento y aprovechamiento de esta energía renovable.

Se tuvo como base de la investigación el libro Energía solar fotovoltaica - Cálculo de una instalación aislada segunda edición.

Previamente ya se contaba con un proyecto de refrigeración tipo Peltier, pero sin alimentación eléctrica DC para su puesta en marcha. Sus celdas consumen gran cantidad de energía puesto que su principio de funcionamiento es termoeléctrico.

Los libros y revistas consultadas datan que una instalación eléctrica solar aislada o autónoma debe ser diseñada con una autonomía mínima de 3 días en su banco de baterías. Al ver que la universidad ya contaba con 4 paneles instalados con una potencia de 300 W cada uno, se buscó la manera de lograr el mayor tiempo posible de generación de energía eléctrica para el proyecto puesto que para cumplir dicho ítem, de los tres días de autonomía, se necesitaría de más módulos solares y baterías de mayor capacidad.

## **6.1 Carga o capacidad instalada**

Como se explica en la tabla 5, el cálculo (anexo) da como resultado que la carga instalada en 3 horas de funcionamiento al día, consume 3773,52 Wh/día.

Se pudo encontrar el punto de equilibrio en 3 horas de funcionamiento con la

radiación solar generada en la ciudad de Medellín, aprovechando al máximo los 4 paneles instalados en la institución.

## 6.2 Corriente total del sistema

### Celdas Peltier.

$$I = \frac{537,6 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 22,4 \text{ A} * 2 = 44,8 \text{ A.}$$

### Cinta LED

$$I = \frac{1,2 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 0,05 \text{ A.}$$

### Ventiladores

$$I = \frac{4,32 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 0,18 \text{ A} * 2 = 0,36 \text{ A.}$$

### Sistema de bombeo

$$I = \frac{86,4 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 3,6 \text{ A} * 2 = 7,2 \text{ A.}$$

$$I_{TOTAL} = 52,41 \text{ A}$$

### 6.3 Número de paneles

Al saber la potencia y corriente total del sistema, procedemos a calcular el número de paneles necesarios para suplir dicha necesidad.

Para ello, primero se debe conocer el rendimiento global (pérdidas totales) de la instalación.

Reemplazando:

$$K_T = (1-(0,1-0-0,1-0,15)) * (1-(0,005*1) / 0,6)$$

$$K_T = 0,645 \text{ Rendimiento global de la instalación.}$$

Luego, por fórmula, se divide la potencia o carga total instalada por 7

$$\frac{3773,52 \text{ W}}{7} = 539,07 \text{ W}$$

Se divide el resultado anterior por el rendimiento global de la instalación

$$\frac{539,07 \text{ W}}{0,645} = 835,77 \text{ W}$$

En la tabla 6, se muestra el resultado (anexo) de las horas pico solar en la ciudad durante el año.

El resultado es que a 20° de inclinación del panel, la HSP corregida es **1,24** horas.

Tabla 6. HSP corregida ciudad de Medellín

HSP	H	K	HSP corregida
Enero	5,5	1,27	1,94
Febrero	5,4	1,21	1,82
Marzo	4,8	1,15	1,53
Abril	4,1	1,09	1,24
Mayo	4,5	1,04	1,30
Junio	5,5	1,03	1,57
Julio	6,4	1,05	1,87
Agosto	6	1,1	1,83
Septiembre	4,9	1,18	1,61
Octubre	4,3	1,28	1,53
Noviembre	4,5	1,34	1,68
Diciembre	4,9	1,32	1,80

Sabiendo esto, se procede a realizar el cálculo para determinar el número de paneles necesarios con el fin de generar y suplir la energía demandada por el sistema de refrigeración tipo Peltier.

$$\left( \frac{\frac{835,77W}{24V}}{8,19Imp * 1,24HSP} = 3,43 \text{ p\u00e1neles} \right) = 4 \text{ p\u00e1neles solares}$$

Algunos textos recomiendan calcular las p\u00e9rdidas del sistema sobre el 10% de la potencia total instalada para calcular el n\u00famero de paneles necesarios.

$$3773,52 \text{ Wh/d\u00eda} * 1,1 = 4150,87 \text{ Wh/d\u00eda} \quad \text{Potencia total a suplir}$$

$$\frac{4150,87Wh/día}{4,1HSP} = 1012,41 Wh/día$$

En conclusión, los 4 páneles instalados en la Institución Universitaria Pascual Bravo, suplen 3 horas de uso diario. Cada panel tiene una potencia de 300 W que, al conectarlos en paralelo, estar an generando una potencia de 1200 W, la suficiente para suplir la demanda del sistema.

Cabe resaltar que, por norma general, los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el sur, ya que Colombia se encuentra en el hemisferio norte. Si nos encontráramos en el hemisferio sur habr a que orientarlos hacia el norte. (Aparicio, 2010)

#### **6.4 Regulador**

Luego de encontrar y sacar máximo provecho a los páneles solares, se procede a calcular el regulador ideal para el sistema.

Entonces,

$$Regulador = (8,19_{Imp} * 4 * 1,1) = 36,04 A$$

La universidad cuenta con un regulador solar de 60 A, el cual es suficiente para regular la carga del sistema.



*Ilustración 22. Regulador 60 A MPPT*

Se pudo determinar que el regulador necesario para suplir las 3 horas de generación de los módulos solares, en un regulador de 40 amperios. La universidad dispone de un regulador de 60 amperios, el cual es más que suficiente para regular el funcionamiento del sistema.

## **6.5 Contactores**

El cálculo realizado para la selección del contactor para las celdas Peltier se realizó con la ley de Watts:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{537,6}{24} \quad I = 22,4 * 2 = 44,8 \text{ A.}$$

El resultado es 44,8 amperios para las dos celdas, seleccionándose un contactor marca Telemecanique, 24 VDC, corriente nominal de 50 A.



*Ilustración 23. Contactor 50 A 24 VDC Telemecanique*

Asimismo, se realiza el cálculo para las bombas de agua:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{86,4}{24} \quad I = 3,6 * 2 = 7,2 \text{ A.}$$

El resultado es 7,2 amperios para las dos bombas de agua, seleccionándose un contactor

marca SIEMENS, 24 VDC, corriente nominal 25 A. Se selecciona este contactor debido a que comercialmente era el único disponible.



*Ilustración 24. Contactor 25 A 24 VDC SIEMENS*

## 6.6 Protecciones termomagnéticas

El sistema completo tiene una carga instalada de 52,41 amperios (A) especificados de la siguiente manera:

### **Celdas Peltier**

$$I = \frac{537,6 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 22,4 * 2 = 44,8 \text{ A.}$$

### **Cinta LED**

$$I = \frac{1,2 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 0,05 \text{ A.}$$

### **Ventiladores**

$$I = \frac{4,32 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 0,18 \text{ A} * 2 = 0,36 \text{ A.}$$

### **Sistema de bombeo**

$$I = \frac{86,4 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad I = 3,6 \text{ A} * 2 = 7,2 \text{ A.}$$

$$I_{TOTAL} = 52,41 \text{ A}$$

Con base al resultado se selecciona un totalizador Schneider Electric (protección termomagnética) de 63 amperios, 24 VDC.

Asimismo, se selecciona una protección termomagnética Schneider Electric de 50 amperios, 24 VDC para las celdas Peltier.



*Ilustración 25. Protecciones termomagnéticas.*

## 6.7 Banco de baterías

Considerando que en la universidad dispone de 6 baterías 12 VDC 100 Ah, se procede a calcular el banco de baterías.

Entonces,

$$C_{batería} \geq \frac{3773,52 * 1}{0,60} / 24$$

$$C_{batería} \geq 262A_h$$

La universidad cuenta con 6 baterías de 12 VDC, 100 Ah. Son suficientes para suplir la carga instalada.

Se deben conectar en paralelo.

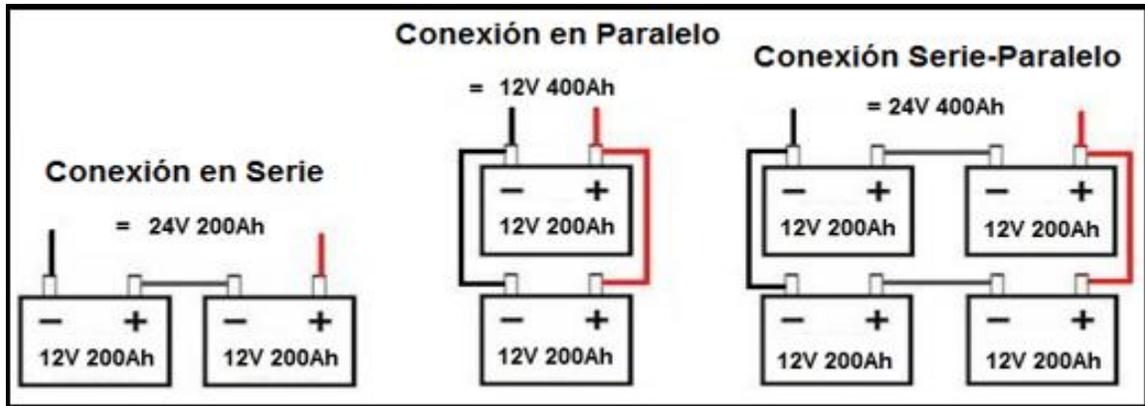


Ilustración 26. Conexión de baterías.

Los fabricantes de baterías no recomiendan conectarlas en paralelo. Además, no recomiendan hacer una serie de tres o más baterías puesto que esto reduce significativamente su vida útil.

## 6.8. Cableado

Para el cálculo de la sección de un cable se debe conocer: el material que lo compone (cobre o aluminio y su conductividad  $-k-$ ), la longitud del cable ( $l$ ) en metros, la corriente que atravesará el conductor ( $I$ ) en amperios y la caída de tensión entre sus extremos ( $U$ ).

El valor de la conductividad ( $k$ ) dependerá del material utilizado:

- **Cobre:**  $56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

• **Aluminio:**  $35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

- Para las celdas Peltier se utilizó cable calibre 10 AWG puesto que tiene una capacidad de 40 amperios hasta 3 conductores transportando corriente.

- Para las bombas de agua se utilizó cable calibre 16 AWG puesto que tiene una capacidad de 13 amperios hasta 3 conductores transportando corriente.

- Para la conexión regulador – batería se realizó el siguiente cálculo:

$$S = 2 * \frac{2 * 32,76}{56 * 0,24} [\text{mm}^2]$$

$$S = 9,75 = 10 [\text{mm}^2]$$

El resultado es equivalente a cable calibre 8 AWG puesto que tiene una capacidad de 55 amperios hasta 3 conductores transportando corriente.

- Para la conexión paneles – regulador se realizó el siguiente cálculo:

$$S = 2 * \frac{10 * 32,76}{56 * 0,72} [\text{mm}^2]$$

$$S = 16,25 [\text{mm}^2]$$

El resultado es equivalente a cable calibre 6 AWG puesto que tiene una capacidad de 75 amperios hasta 3 conductores transportando corriente.

Tabla 7. Calibre de cables Centelsa

1. Conductor		Número de Conductores	Diámetro del Núcleo	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Resistencia DC a 20°C	Capacidad de Corriente (A)	
Calibre	Diámetro						(*)	(**)
AWG	mm	No	mm	mm	kg/km	Ohm/Km		
18	1,17	2	2,34	6,66	62	21,42	10	7
		3	2,52	7,05	74			
		4	2,82	7,71	90			
16	1,48	2	2,96	7,28	79	13,45	13	10
		3	3,19	7,72	96			
		4	3,57	8,46	117			
14	1,89	2	3,78	8,10	105	8,44	25	20
		3	4,07	8,60	130			
		4	4,56	9,45	160			
12	2,38	2	4,76	9,08	142	5,31	30	24
		3	5,13	9,66	178			
		4	5,75	11,41	241			
10	2,99	2	5,98	10,30	197	3,34	40	32
		3	6,44	11,75	271			
		4	7,22	12,88	336			
8	3,75	2	7,50	14,90	372	2,10	55	44
		3	8,08	15,81	462			
		4	9,05	18,35	612			
6	4,75	2	9,50	18,44	576	1,32	75	60
		3	10,24	19,55	717			
		4	11,47	21,39	886			

Notas:

Los datos aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y pueden ser modificados sin previo aviso. Capacidades de corriente a temperatura ambiente 30°C y temperatura conductor 105°C Norma base NTC 2050 Sección 400.

(\*) Hasta tres conductores transportando corriente.

(\*\*) Cuatro conductores transportando corriente.

Otras configuraciones, calibres y colores no especificadas en este catálogo están disponibles bajo pedido.

Tabla 8. Equivalencias AWG / MCM a mm<sup>2</sup>

Columna 1a	Columna 1b	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5a	Columna 5b	Columna 1a	Columna 1b	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5a	Columna 5b
Indicación de sección norteamericana buscada		Conversión geométrica	Sección nominal métrica que cumple los requisitos eléctricos	Sección nominal métrica buscada	Magnitud norteamericana que cumple los requisitos eléctricos		Indicación de sección norteamericana buscada		Conversión geométrica	Sección nominal métrica que cumple los requisitos eléctricos	Sección nominal métrica buscada	Magnitud norteamericana que cumple los requisitos eléctricos	
AWG	kcmil	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	AWG	kcmil	AWG	kcmil	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	AWG	kcmil
750	380,03	400	400	400	800	800	9	6,63				8	
500	253,35	300	300	300	750	750	10	5,26	6	6		9	
450	228,02	240	240	240	500	500	11	4,17				10	
400	202,68				450	450	12	3,31	4	4		11	
350	177,35	185	185	185	400	400	13	2,62				12	
300	152,01				350	350	14	2,08	2,5	2,5		13	
250	126,68	150	150	150	300	300	15	1,65				14	
4/0	107,22	120	120		250	250	16	1,31	1,5	1,5		15	
3/0	85,01	95	95	4/0			17	1,04				16	
2/0	67,43	70	70	3/0			18	0,82	1	1		17	
1/0	53,49			2/0			19	0,65	0,75	0,75		18	
1	42,41	50	50	1/0			20	0,52				19	
2	33,62	35	35	1			21	0,41	0,5	0,5		20	
3	26,67				2		22	0,33	0,34	0,34		21	
4	21,15	25	25	3			23	0,26				22	
5	16,77				4		24	0,20	0,25	0,25		23	
6	13,30	16	16	5			25	0,16				24	
7	10,55				6		26	0,13	0,14	0,14		25	
8	8,37	10	10	7									

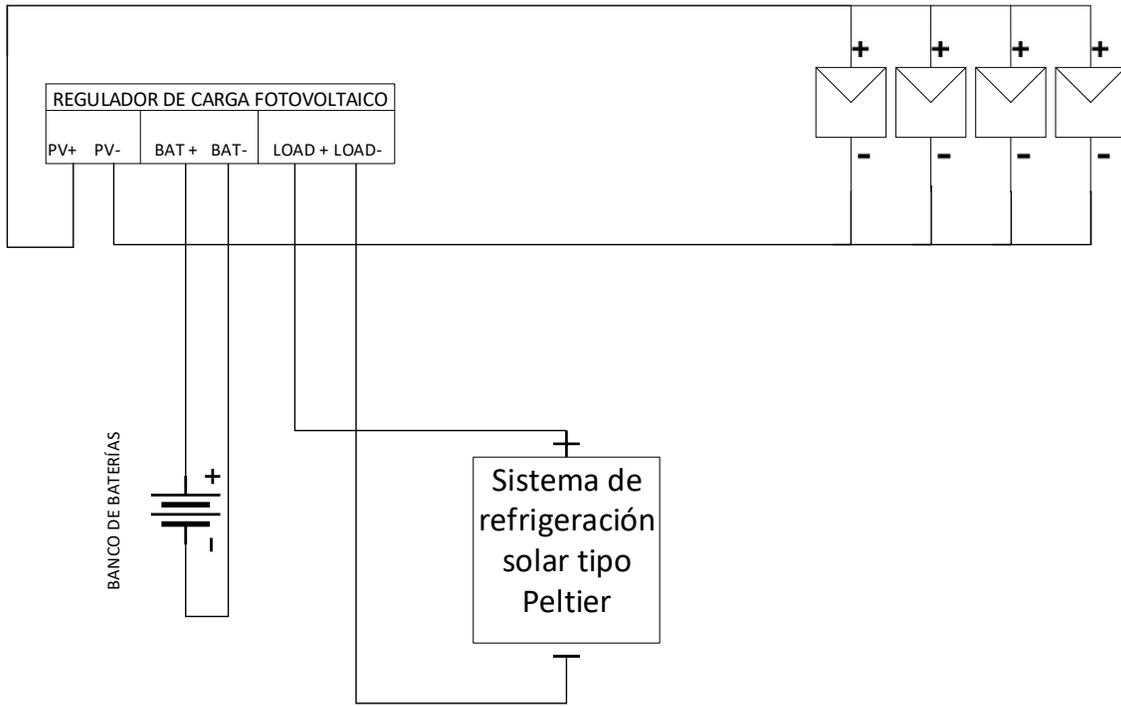
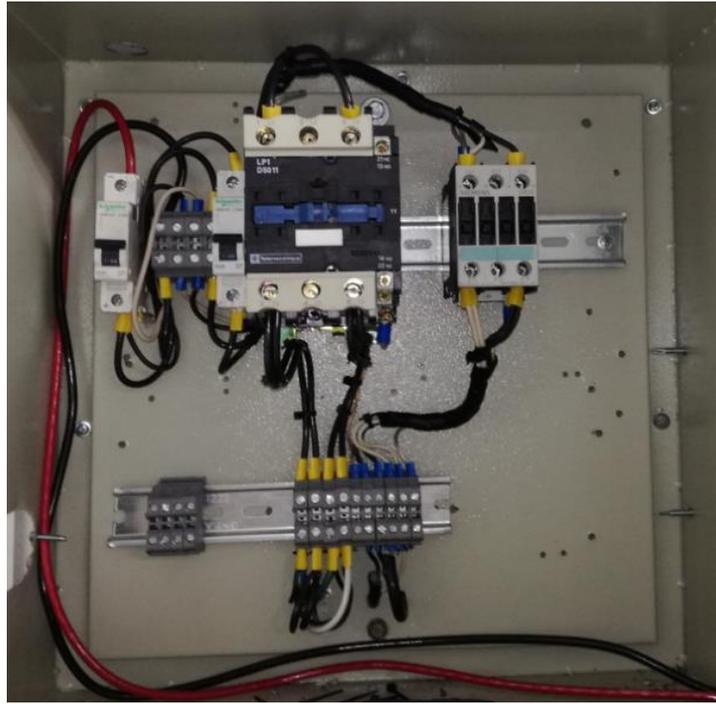


Ilustración 27. Esquema de conexión instalación solar aislada.



Ilustración 28. Gabinete tablero de potencia.



*Ilustración 29. Tablero de potencia ensamblado.*



*Ilustración 30. Prototipo Sistema de refrigeración tipo Peltier.*

## **Capítulo 7**

### **Recomendaciones**

Los cálculos y el montaje de este proyecto se hicieron para aprovechar al máximo los elementos con los que ya contaba la universidad (páneles, regulador, baterías).

El resultado arrojado para los módulos, regulador, baterías, protecciones y cableado es para la carga detallada al inicio del mismo y para 3 horas de funcionamiento al día.

Si en un futuro, por algún motivo, se decide aumentar la carga instalada, se alterará los cálculos ya establecidos y se podría incurrir en alguna afectación al sistema.

Si se decide instalar más carga al sistema de refrigeración, se deberá realizar nuevamente los cálculos por un ingeniero electricista.

A futuro y para cumplir con la norma de los tres días de autonomía de una instalación solar fotovoltaica aislada o autónoma, se recomienda adquirir un banco de baterías de 1200 Ah, como también, 2 páneles solares más de 300 W para cumplir con los 6 módulos necesarios que supla la demanda requerida.

Lo anterior es con el fin de dar cumplimiento a los cálculos ideales y cumplir con lo que data la bibliografía citada.

El regulador instalado de 60 A es acorde al sistema y coincide con el cálculo ideal.

Los paneles instalados en el área de la piscina de la universidad, no cumplen con el grado de inclinación según la ubicación geográfica de la ciudad de Medellín. Con base a la norma y la fórmula de la misma, los paneles instalados en Medellín deben ir entre 15° y 20° de inclinación orientados hacia el sur puesto que Colombia es un país que pertenece al hemisferio norte

Se recomienda corregir la ubicación para aprovechar al máximo la radiación solar sobre los módulos solares.

## Capítulo 8

### Conclusiones

Luego de todo un trabajo de análisis y cálculos para el máximo aprovechamiento de elementos para una instalación solar con que contaba la universidad, se pudo concluir lo siguiente:

- Para el cálculo y dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico aislado, es muy importante tener en cuenta la ubicación geográfica del país sobre los hemisferios, puesto que, si está en el hemisferio norte, los paneles deben ir orientados hacia el sur y viceversa. Además, se debe considerar los obstáculos que impidan el aprovechamiento óptimo de la radiación solar.

- La eficiencia de un sistema solar fotovoltaico, puede llegar a ser muy limitado por la escogencia errónea de los paneles solares, por ello es importante realizar correctamente los cálculos para el dimensionamiento del sistema.

- En toda instalación eléctrica, prima la seguridad de las personas y la protección de los equipos, por ende, se debe realizar correctamente la escogencia de las protecciones y el cableado a utilizar para la puesta en marcha del sistema.

- Se logró aprovechar al máximo la eficiencia de cada uno de los elementos con que contaba la universidad, dando como resultado una autonomía de 3 horas diarias en la alimentación de un sistema de refrigeración tipo Peltier.

## Bibliografía

- [1] Adrián, J. C. (2009). PROYECTO FIN DE CARRERA. *Protocolo de homologación de contactores*, 10.
- [2] Aparicio, M. P. (2010). *Energía solar fotovoltaica Cálculo de una instalación aislada Segunda edición*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- [3] Calderón, R. P. (2010). *USO DEL INTERRUPTOR DIFERENCIAL PARA LA PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- [4] Energética, S. d. (1999). *ENERGÍAS RENOVABLES: DESCRIPCIÓN, TECNOLOGÍAS Y USOS FINALES*. UPME, 7.
- [5] ENERSYS, O. (8 de Junio de 2019). Obtenido de Tabwebshop web site:  
<http://www.tabwebshop.com/BATERIAS/OPZV>
- [6] ingenierosgema@gmail.com. (8 de 06 de 2012). <http://baterias-secas-ups.blogspot.com>.  
Obtenido de <http://baterias-secas-ups.blogspot.com/2012/06/bateria-estacionaria-tudor-trans-6vasos.html>
- [7] Patterson, G. -S. (2007). *EFECTO PELTIER*. Buenos Aires: Laboratorio 4 - Dpto. de Física - FCEyN - UBA.
- [8] Rincón, P. C. (2010). Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 30 No. 3*, 165-173.
- [9] solar, a. (8 de Junio de 2019). Obtenido de Alba solar web site:  
<https://albasolar.es/portfolio/bateria-gel-sonneschein-monoblock-612-v/>
- [10] UPME. (1999). *ENERGÍAS RENOVABLES: DESCRIPCIÓN, TECNOLOGÍAS Y USOS FINALES*. Bogotá: Icontec.

## **Anexos**

Para este proyecto fue de gran importancia el libro Energía solar fotovoltaica Cálculo de una instalación aislada segunda edición, el cual, reposa en la biblioteca de la universidad.

Se decide digitalizarlo y adjuntarlo como anexo ya que es de gran ayuda para los ingenieros electricistas.

También, se adjunta la revista de la UPME sobre energías renovables.

Por último, se anexa las memorias de cálculo utilizadas en el proyecto.