

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA  
DOS AULAS MOVILES DEL SENA**

JOSE ALBERTO COLONNA PERTUZ  
FRANCO ANTONIO MEDINA BARRAZA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, "CUC"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2013

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA  
DOS AULAS MOVILES DEL SENA**

JOSE ALBERTO COLONNA PERTUZ  
FRANCO ANTONIO MEDINA BARRAZA

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Director académico:  
**ADALBERTO OSPINO**

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, "CUC"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2013

## **DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA DOS AULAS MOVILES DEL SENA**

Todo el trabajo descrito en este documento es de la autoría de los abajo firmantes y fue realizado bajo la dirección del tutor asignado, excepto donde se han hecho referencias al trabajo de otros.

---

José Alberto Colonna Pertuz

---

Franco Antonio Medina Barraza

Los abajo firmantes certificamos haber leído este trabajo de investigación dirigida y que, en nuestra opinión, es totalmente adecuado, en calidad y nivel de profundidad, para optar al título profesional.

Nota de aceptación

---

---

Firma del Director

---

Firma Jurado N°1

---

Firma Jurado N°2

***Porque al ir, se va llorando, llevando la semilla; más al volver se viene cantando Trayendo las gavillas (Salmo 126).***

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la vida que me ha dado para poder lograr este triunfo y por la fuerza que salió de mis entrañas para regalarme a mí mismo la satisfacción de una meta terminada. Solo Dios sabe la falta que me hacía, para cerrar un ciclo que merezco y necesito para disfrutar de la paz y el amor propio y a quienes me rodean.

Triunfo que ofrezco:

... A mis padres Pedro y Ligia, quienes se esforzaron por tener los ingresos necesarios para ver a sus hijos siendo profesionales y hoy puedo cumplirles el deseo de colocar este título en sus manos y esta es la satisfacción más grande

... A ti, hijo mío, Carlos Alberto, a quien amo y digo que en la vida se gana y se pierde, pero lo más importante es la reconstrucción para lograr lo que se necesita y que nunca es tarde para disfrutar la vida.

... A ti Melissa que conoces mis juicios, este era el mayor de ellos y hoy siento la alegría de compartir contigo esta deuda saldada.

... A ti Vanessa por el acompañamiento que le has dado a mi vida y la aceptación de lo que soy siendo o no profesional.

... A ti Haydée, una Dedicación especial porque tu amor me llenó de fuerzas para iniciar y terminar un sinnúmero de situaciones pendientes y las que hacen falta. Te dedico este triunfo por todos los días de ausencia que tuve para dedicarme a no volver a perder. Por tu acompañamiento incondicional y amoroso que me dice lo importante que soy para tu vida y este logro terminado corresponde a lo importante y valiosa que eres para la mía.

... A mis hermanos Pedro y Juan Carlos, mi cuñada Esperanza y mis sobrinos Carlos y Dayra, a quienes les siento su emoción de verme triunfar en esta meta, porque vivieron de cerca el título que parecía perdido y hoy lo sacamos del más allá.

... Al ingeniero Jorge Silva, quien tuvo fe, puesto que creyó en mí sin conocerme y este es la compensación que le doy a su valioso apoyo en mi paso por la Universidad de la Costa.

... Al Arquitecto Cesar de la Cruz mi jefe en el SENA, por la institución que él representa y el apoyo que él me brindó para cerrar este ciclo.

... Y a todos mis amigos personales por animarme a continuar sin desfallecer, cada una de sus palabras me impulsaron a llegar a esta meta y mis compañeros de universidad quienes me aceptaron como uno más de sus amigos y apoyaron en los momentos de angustia.

Los amo a todos.

**JOSE ALBERTO COLONNA PERTUZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto de grado no podría haber culminado sin la ayuda y cooperación de muchas personas, que nos brindaron apoyo y su ayuda en los momentos requeridos.

Primero quiero agradecer a Dios por regalarme todo lo que soy y todo lo tengo, por acompañarme en cada momento de mi vida, este proyecto es para su gloria.

A mi madre Marta Barraza Meriño por apoyarme siempre en todos mis proyectos por guiarme por el camino correcto, gracias a ella hoy puedo decir que soy quien soy.

A mi compañero de tesis José Colonna quien me vinculó a este proyecto y confió en mí en todos los momentos del mismo.

Igualmente, agradecer al Ingeniero Jorge Iván Silva por brindarnos los conocimientos necesarios para una correcta presentación sobre el informe escrito, por aconsejarnos y guiarnos a lo largo de este semestre, por su paciencia y brindarnos su amistad.

***Gracias a todos....***



## RESUMEN

El presente trabajo de grado presenta, de manera detallada y completa, un estudio de implementación de un sistema solar fotovoltaico a una de las aulas móviles del SENA, Centro Industrial y de Aviación, Regional Atlántico, para abastecer su consumo eléctrico.

El primer paso fue la realización de una investigación sobre la transformación de la energía lumínica proveniente del sol, en energía eléctrica, proceso que se lleva a cabo en el panel o módulo fotovoltaico (FV), el cual es el elemento principal del sistema usado como el generador de energía eléctrica. A continuación se analiza el funcionamiento de un arreglo solar fotovoltaico autónomo, con todos los componentes, teniendo en cuenta sus características para la selección y dimensionamiento. Posteriormente se realiza un estudio de la radiación solar promedio de la zona por donde se ha destinado el funcionamiento del aula móvil, así como el censo de carga con que cuenta el aula móvil. Se presentan además, datos sobre los precios de los diferentes equipos para aplicaciones fotovoltaicas, a partir de éstos se obtiene un cálculo del presupuesto inicial necesario para la implementación del proyecto. Como conducta final se ofrece una posibilidad de financiamiento del proyecto teniendo en cuenta las condiciones del mismo.

**Palabras claves:** sistema solar fotovoltaico, aula móvil, radiación energía eléctrica, generación.

## ABSTRACT

This graduation work presents a detailed and comprehensive study for the implementation of a solar PV system to one of the mobile classrooms at the SENA, Industrial and Aviation Center, Atlantic Regional, to supply their electricity.

The first step was to conduct research on the transformation of light energy from the sun into electrical energy, a process that takes place on the panel or photovoltaic module (PV), which is the main element of the system used as electricity generator. Then we analyze the performance of a standalone photovoltaic solar array, with all its components, taking into account its characteristics for selection and sizing.

Subsequently, a study is to be made on of the average solar radiation of the area where the operation of the mobile classroom is expected, as well as the charging census available to the mobile classroom. It also presents data on the prices of different equipment for photovoltaic applications. ; From them, you get an estimate of the initial budget required for project implementation.

**Keywords:** solar photovoltaic system, mobile classroom, radiation, electricity, generation.

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
2. JUSTIFICACION.....	22
3. OBJETIVOS.....	24
3.1. Objetivo general .....	24
3.2. Objetivos específicos .....	24
4. MARCO TEORICO .....	25
4.1. Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico.....	25
4.1.1. La celda solar .....	25
4.1.1.1. Tipos de celdas solares fotovoltaicas.....	29
4.2. Paneles Solares Fotovoltaicos .....	31
4.2.1. Estructura de los paneles solares.....	32
4.2.2. Conexión de los paneles solares.....	35
4.2.2.1. Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos.....	36
4.2.2.2. Conexión en Serie de módulos fotovoltaicos.....	36
4.2.2.3. Conexión en Serie/Paralelo (Mixta) de módulos fotovoltaicos. ....	37
4.2.3. Características de los paneles.....	38
4.2.3.1. Orientación óptima de los paneles SFV .....	43
4.2.4. La Batería.....	46
4.2.4.1. Tipos de baterías.....	53
4.2.4.1.1 Baterías de plomo ácido.....	53
4.2.4.1.2 Baterías de plomo ácido con válvula regulada .....	54
4.2.4.1.3 Baterías tipo gel .....	55
4.2.4.1.4 Batería AGM.....	57
4.2.4.1.5 Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd).....	58
4.2.4.2. Capacidad de la batería .....	59
4.2.4.3. Tensión nominal.....	61
4.2.4.4. Profundidad de descarga .....	62
4.3. El regulador de carga .....	62

4.4.	El Inversor.....	68
4.4.1.	Tipos de Inversores .....	69
4.4.2.	Parámetros principales .....	70
4.4.3.	Consideraciones de Diseño .....	74
4.5.	Cableado.....	75
4.6.	Elementos de protección .....	76
5.	MARCO CONTEXTUAL .....	77
5.1.	Descripción.....	77
5.2.	SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA .....	78
5.3.	Historia.....	78
5.4.	Misión.....	79
5.5.	Mega 2020: SENA de clase mundial .....	79
6.	METODOLOGIA DE CALCULO.....	84
6.1.	Aula móvil 1 .....	84
6.1.1.	Estimación del consumo .....	86
6.1.2.	Dimensionamiento de los paneles .....	88
6.1.5.	Dimensionamiento de los acumuladores (baterías) .....	91
6.1.6.	Calculo del regulador: .....	95
6.1.7.	Cálculo del inversor:.....	96
6.1.8.	Cálculo de calibre de conductores.....	96
6.2.	Dimensionamientos aula móvil 2: .....	97
6.2.1.	Estimación del consumo:.....	99
6.2.2.	Número de paneles:.....	100
6.2.3.	Paneles en serie:.....	102
6.2.4.	Paneles en paralelo: .....	102
6.2.5.	Calculo de las baterías .....	102
6.2.6.	Calculo del regulador .....	103
6.2.7.	Cálculo del inversor .....	105
6.2.8.	Calibre de conductores. ....	105
7.	DESCRIPCION DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	106

7.1.	Aula móvil 1 .....	106
7.1.1.	Módulos fotovoltaicos: .....	107
7.1.4.	Baterías:.....	109
7.1.4.1.	Dimensiones.....	110
7.1.4.2.	Estructura de la batería .....	110
7.1.4.3.	Criterios de diseño.....	110
7.1.5.	Inversor:.....	110
7.2.	Aula móvil 2 .....	111
7.2.1.	Módulos fotovoltaicos: .....	111
7.2.2.	Regulador .....	112
7.2.2.1.	Características del producto.....	113
7.2.2.2.	Funciones de protección electrónica.....	113
7.2.3.	Baterías .....	114
7.2.4.	Inversor .....	114
7.2.4.1.	Gran potencia instantánea .....	114
7.2.4.2.	Potencia multiplicada gracias al funcionamiento en paralelo y en trifásico	114
8.	ESQUEMA DE CONEXIONES .....	115
8.1.	Esquema de conexión aula móvil 1 .....	115
8.2.	Esquema de conexión aula móvil 2.....	116
9.	ELEMENTOS DEL SISTEMA EN LAS AULAS MOVILES .....	117
9.1.	Aula móvil 1:.....	117
9.1.1.	Paneles solares .....	117
9.1.2.	Baterías.....	120
9.1.3.	Regulador e inversor .....	121
9.2.	Aula móvil 2 .....	121
9.2.1.	Paneles solares .....	121
9.2.2.	Batería regulador e inversor. ....	123
10.	COSTOS DE LA INSTALACIÓN.....	124
11.	CONCLUSIONES .....	125

<b>12.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>GLOSARIO .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>Diagrama unifilar aula móvil 1 y aula móvil 2.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>Mapa brillo solar.....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>Cálculo de refrigeración aula móvil 1 .....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>Medición de ruido Aula móvil 1.....</b>	<b>151</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>1</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones estándar .....	38
Tabla 2: Datos de paneles solares grandes (7) .....	40
Tabla 3: Resumen de los niveles de ensayo. ....	42
Tabla 4: Compatibilidad entre el inversor y los tipos de cargas. ....	75
Tabla 5: Factores de corrección para cables de sistemas fotovoltaicos.....	76
Tabla 6: Cargas aula 1. ....	86
Tabla 7: Estimación de consumo. ....	86
Tabla 8: Estimación número de paneles.....	89
Tabla 9: Datos de fabricante del panel.....	89
Tabla 10: Número de paneles en serie. ....	90
Tabla 11: Número de paneles en paralelo.....	90
Tabla 12: Baterías según potencia de la carga .....	91
Tabla 13: Estimación de la batería en función de la descarga máxima .....	93
Tabla 14: Capacidad de baterías teniendo en cuenta los días de autonomía	94
Tabla 15: Número de baterías .....	94
Tabla 16: Corriente de entrada. ....	95
Tabla 17: Corriente de salida .....	96
Tabla 18: Potencia del inversor .....	96
Tabla 19: Cargas aula 2 .....	99
Tabla 20: Estimación de consumo. ....	100
Tabla 21: Número de paneles. ....	101
Tabla 22: Paneles en serie. ....	102
Tabla 23: Número de paneles en paralelo.....	102
Tabla 24: Capacidad de las baterías. ....	103
Tabla 25: Capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional .....	103
Tabla 26: Corriente de entrada. ....	104
Tabla 27: Corriente de salida. ....	104
Tabla 28: Capacidad del inversor. ....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bandas de energía de los materiales .....	26
Figura 2: Dopado del silicio .....	27
Figura 3: Construcción de la celda solar fotovoltaica .....	27
Figura 4: Juntura n-p en equilibrio. ....	28
Figura 5: Panel solar mono-cristalino .....	29
Figura 6: Panel solar poli-cristalino. ....	30
Figura 7: Placa de panel solar amorfo. ....	31
Figura 8 Partes del panel solar fotovoltaico. ....	32
Figura 9: Elementos de un panel solar fotovoltaico. ....	33
Figura 10: Esquema de conexión simplificado .....	35
Figura 11: Esquema de conexión con diodo de bloqueo .....	35
Figura 12: Esquema de conexión con diodos de bloqueo y bypass.....	35
Figura 13: Conexión en paralelo de los paneles .....	36
Figura 14: Conexión serie de paneles.....	37
Figura 15: Conexión mixta de paneles sfv.....	38
Figura 16: Efecto de la temperatura sobre el comportamiento de un panel sfv .....	40
Figura 17: Efectos de la insolación sobre el comportamiento de un panel sfv .....	41
Figura 18: Percepción del movimiento del sol alrededor de la tierra-a .....	44
Figura 19: Percepción del movimiento del sol alrededor de la tierra-b .....	44
Figura 20: Angulo azimutal. ....	45
Figura 21 Angulo de inclinación.....	45
Figura 22: Esquema de una batería de plomo acido. ....	54
Figura 23 Batería de plomo acido con válvula reguladora. ....	55
Figura 24: Batería tipo gel.....	56
Figura 25: Batería agm. ....	57
Figura 26: Baterías de niquel-cadmio. ....	58
Figura 27: Conexión en paralelo de baterías con puesta a tierra. ....	62
Figura 28: Regulador de carga. ....	63
Figura 29: Bloques de un regulador en paralelo.....	65
Figura 30: Fases del regulador de carga. ....	66
Figura 31: Variación de la tensión eléctrica en baterías con regulador de carga.....	67



<b>Figura 32: Diagrama de bloques de convertidor 12 v cc a 110 v ac. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 33: Señales de tensión de onda senoidal, cuadrada y modificada. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 34: Inversor de onda cuadrada 150 vatios. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 35: Inversor de onda modificada de 300 vatios. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 36: Inversor de onda pura 4500 vatios. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 37: Curva de irradiación solar-horas pico solares. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 38: Esquema de un sistema solar fotovoltaico. ....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 39: Sistema solar t5 sun power. ....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 40: Batería rolls 6 cs 25p – 1156 a 6v ....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 41: Sistema solar t5 sun power. ....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 42: Esquema de conexión aula 1 ....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 43: Esquema de conexión aula móvil 2. ....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 44: Vista superior aula móvil 1 ....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 45: Vista lateral aula móvil 1 ....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 46: Vista frontal ....</b>	<b>119</b>
<b>Figura 47: Maqueta grafica paneles aula móvil 1 ....</b>	<b>119</b>
<b>Figura 48: Vista frontal aula móvil 2. ....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 49: Vista lateral aula móvil 2 ....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 50: Vista superior ....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 51: Esquema conexión baterías ....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 52: Espacio de instalación baterías. ....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 53: Sitio instalación baterías. ....</b>	<b>123</b>

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	84
Ecuación 2.....	84
Ecuación 3.....	85
Ecuación 4.....	85
Ecuación 5.....	86
Ecuación 6.....	87
Ecuación 7.....	88
Ecuación 8.....	90
Ecuación 9.....	90
Ecuación 10.....	92
Ecuación 11.....	92
Ecuación 12.....	93
Ecuación 13.....	93
Ecuación 14.....	94
Ecuación 15.....	94
Ecuación 16.....	95
Ecuación 17.....	95
Ecuación 18.....	96
Ecuación 1.....	97
Ecuación 2.....	98
Ecuación 3.....	98
Ecuación 4.....	98
Ecuación 5.....	99
Ecuación 7.....	100
Ecuación 9.....	102
Ecuación 16.....	104
Ecuación 17.....	104
Ecuación 18.....	105

## INTRODUCCION

Diariamente, la generación de energía eléctrica por medio de sistemas solares fotovoltaicos se ha convertido en una alternativa a la que le temen los grandes generadores convencionales, sobre todo cuando los clientes se encuentran a distancias que resultan poco viables económicamente, para tender redes que brinden la calidad de vida y de energía que requiere cualquier ciudadano. (3)

En la actualidad, para zonas urbanas, resulta mucho más económico conectarse a una red de distribución local, que a un sistema de generación fotovoltaica, debido, principalmente al alto costo que implica una instalación de este tipo. Esto a causa de las materias primas con que son fabricados los paneles fotovoltaicos como son el silicio mono cristalino y poli cristalino y al proceso de fabricación misma, el cual requiere de un alto consumo energético.

Pero, dentro de sus numerosas ventajas en el uso de este tipo de energía, se cuentan lo amigable con el medio ambiente, la fuente inagotable, limpia y gratuita del sol, no genera ningún tipo de ruido ambiental y dependiendo del tipo de tecnología puede llegar a ser modular.

El proyecto tiene el objetivo de diseñar un sistema Solar Fotovoltaico para suministrar energía a las cargas eléctricas de un aula móvil del SENA. Se busca ofrecer una opción de generación de energía solar fotovoltaica a una de las aulas móviles del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, la cual actualmente cuenta con una acometida que debe conectarse al tomacorriente más cercano, para lo cual hay que hacer la adaptación correspondiente porque la acometida consta de una clavija especial para conexión a una tensión monofásica trifilar 110/220 voltios y teniendo en cuenta que esta aula móvil asiste a las comunidades más alejadas, como lo establecen las políticas del SENA, basadas en impartir formación a todos los colombianos necesitados del conocimiento, donde la calidad del servicio de energía eléctrica no es ni confiable, ni segura; alternativamente, el aula cuenta con una planta de generación a gasolina la cual ocasiona contaminación ambiental por los gases que emana a la atmosfera y contaminación auditiva por el ruido que es molesto para impartir la formación a quienes se les brinda capacitación.

El proyecto será presentado al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, para gestionar los recursos y realizar su futura implementación por parte del autor del proyecto.

Como se mencionó anteriormente respecto a los altos costos de inversión en la instalación de sistemas solares fotovoltaicos, proyectos similares ya se han implementado en poblaciones de África en un camión potabilizador de agua creado por Igoan Solar, o lo que está utilizando las empresas ICL Co Ltd., Mitsubishi Corp. Y Nippon Fruefauf Co. para un proyecto que usará un sistema de paneles solares para alimenta el sistema de aire acondicionado de los camiones con un sistema llamado i-Coll Solar.

En este documento se encuentra inicialmente el planteamiento del problema donde se describe claramente la situación que se presenta en el uso del aula móvil (sección 1). A continuación se justifica la necesidad de realizar este diseño, es decir, ¿por qué es necesario realizarlo? (sección 2). Con base en el problema detectado, se plantea un objetivo general que lleva al planteamiento de los objetivos específicos los cuales son el fin de este proyecto de grado (sección 3).

Una vez planteado los objetivos, se encuentra a continuación, el marco teórico en los cuales se soportan cada una de los conceptos, teorías y metodologías aplicados en el trabajo. En él se describen cada uno de los componentes existentes en el comercio de los sistemas fotovoltaicos (sección 4). Posteriormente está el marco contextual, donde se encuentra especificado dónde se realizó el proyecto (sección 5)

Finalmente se realizan los cálculos pertinentes para dimensionar cada uno de los componentes del sistema solar fotovoltaico (sección 6)

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el aula móvil cuenta con una planta eléctrica que alimenta a las cargas del aula, esta planta produce un ruido en su funcionamiento el cual es demasiado molesto para los aprendices que reciben la formación. De acuerdo a las impresiones del arquitecto Lucas Gutiérrez Panza y del instructor Javier Morales instructores que han usado el aula, la desatención de los aprendices y el esfuerzo en la voz para trabajar es demasiado y los gases que emanan de la combustión son molestos. Adicionalmente, es necesario mantener un recipiente con combustible de reserva para el caso de agotarse esta pueda recargarse, ésta es una situación que se convierte en peligrosa por el manejo que hay que darle a este tipo de combustible.

Por otro lado, cuando se usa la acometida de aproximadamente 100 metros de largo, se tiene la dificultad de presentar una baja en la tensión, puesto que las poblaciones cuentan con una mala calidad de energía, ocasionando funcionamientos inadecuado de los equipos conectados en el aula como computadores, video beam, ventiladores entre otros. Además se requiere la presencia de una persona calificada y certificada en electricidad para conectar esta acometida a la red de distribución del sector, o el concurso de funcionarios del operador de red para lograr este propósito. Una vez conectada el aula a la red de distribución, se agrava el problema de tensión eléctrica debido al aumento de carga del transformador del sector.

La situación planteada en la descripción del problema sugiere formularse el siguiente interrogante:

**¿Es Justificable, implementar un diseño fotovoltaico para las aulas móviles del SENA, que reemplace eficientemente los sistemas de alimentación con las que ya cuentas las aulas y en qué índices disminuirían la contaminación, por CO<sub>2</sub> y por ruido?**

## 2. JUSTIFICACION

El abastecimiento de energía con que cuenta las aulas móviles del SENA se realiza por medio de una planta de generación de combustión interna de dos tiempos a gasolina la cual es un gran contaminante del medio ambiente por su alto contenido de gases CO<sub>2</sub> productos de la combustión, el ruido provocado por el generador eléctrico medido en el interior y en el exterior del aula excede el nivel de ruido establecido en la norma de ruido ambiental 0627 de 2006 (4)(5). Adicionalmente el ruido que provoca, causa contaminación ambiental y por ende falta de atención de los aprendices quienes reciben las capacitaciones.

Este ruido, según los estándares establecidos por el ministerio de medio ambiente para un sector de estudio no debe superar los 65dB (4)

Otra alternativa de abastecimiento de energía eléctrica con que cuenta el aula es por medio de una acometida monofásica trifilar 110/220 voltios de 100 metros que se conecta directamente a la red en el tomacorriente más cercano, red que no ofrece una buena calidad de servicio y muy baja confiabilidad debido a lo apartado de las poblaciones atendidas por este servicio del SENA, adicionalmente es muy difícil encontrar un servicio en una vivienda que sea monofásico trifilar y si se encuentra hay necesidad de desarmar la clavija especial que tiene la terminal de la acometida. Estos motivos se convierten en una situación a resolver debido a que se debe garantizar que los equipos eléctricos instalados en las aulas móviles, cuenten con un servicio de calidad, así como que los aprendices cuenten con un ambiente de formación apto para recibir la formación en las menores condiciones de riesgo tanto biológico como auditivo, adicionalmente como el ruido es causal de desatención, desconcentración y distracción esto impide que el ambiente de formación sea óptimo y se logre el objetivo de formar.

El desarrollo de este proyecto permitirá contribuir con el medio ambiente, por las cantidades de CO<sub>2</sub> que se dejará de emitir a la atmosfera, permitirá ofrecer una autonomía energética del aula móvil, evitando las limitaciones técnicas a las que se somete cada vez que se llega a una población alejada del casco urbano. Ofrecerá un ambiente silencioso y libre de gases contaminantes peligrosos para la salud de los asistentes a clases en el aula móvil, permitiendo mayor entrega del instructor y mayor concentración a las capacitaciones impartidas. Ofrecerá mayor confiabilidad y calidad de la energía que alimenta a los equipos instalados en el aula dándole mayor seguridad eléctrica a los mismos. Eliminará el peligro de mantener una caneca llena de combustible de reserva para la plata eléctrica.

Evitará la incertidumbre de llegar al sitio programado y no encontrar servicio de energía en el sector.

Este tipo de proyecto es el primero en realizarse en el SENA a nivel nacional, existen instalaciones fotovoltaicas para otras aplicaciones pero no para una de las aulas móviles existentes. Cabe mencionar que dado que el aula se mueve por las regiones más alejadas, ella misma puede servir para impartir formación relacionada con la instalación de sistemas solares fotovoltaicos para los habitantes de la región o dueños de finca que carezcan de servicio de energía eléctrica.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema solar fotovoltaico para dos aulas móviles del **SENA Centro Industrial y de Aviación Regional Atlántico**, que suministre la energía y garantice la autonomía necesaria para el abastecimiento de las cargas instaladas.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Realizar censo de la carga total del aula móvil.
- Establecer el arreglo de paneles del generador fotovoltaico para garantizar un nivel de cargabilidad en la etapa de acumulación de carga.
- Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos que garanticen la estabilidad y calidad de la energía por parte del sistema fotovoltaico.
- Calcular el presupuesto total del sistema fotovoltaico integrado.



## **4. MARCO TEORICO**

Se describe la teoría relacionada con la cual se apoya el presente proyecto y explican el por qué se usa cada uno de los componentes del sistema.

### **4.1. Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico**

A continuación se presenta una descripción detallada de cada uno de los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos y de la función que cada uno desempeña dentro del sistema.

#### **4.1.1. La celda solar**

La energía proveniente del sol se convierte directamente en energía eléctrica a través del proceso fotovoltaico realizado internamente en las celdas solares, las cuales poseen una estructura similar a la de un diodo, y como todo semiconductores, en ellas se encuentra la capa semiconductor tipo N y la capa semiconductor tipo P.

Una celda solar es un transductor que cuando incide la energía radiante del sol en la celda, se produce en ella una diferencia de potencial entre las capas del diodo de 0.5 a 1.0 voltios y una densidad de corriente de 20 a 40 mA/cm<sup>2</sup>, dependiendo de los materiales usados y las condiciones de la luz solar.

Los electrones que pueden generar una corriente eléctrica en un material son los que se encuentran en las órbitas exteriores o banda de valencia de los átomos, que tienen menor fuerza de atracción por parte del núcleo y pueden ser liberados de la misma al aplicar una diferencia de potencial al material (5). Para ser liberado de la fuerza de atracción del núcleo del átomo, la energía suministrada al electrón por el campo eléctrico generado por una diferencia de potencial, deberá ser suficiente para que este salte de la banda de valencia sobre la llamada banda prohibida, hacia la banda de conducción. La Figura 1 muestra la disposición de estas bandas en materiales conductores, aislantes y semiconductores.

En materiales conductores las bandas de valencia y de conducción se traslapan por lo que los electrones de la banda externa de valencia tienen mucha movilidad,

y pueden saltar de átomo a átomo, aún a la temperatura ambiente. El valor de la conductividad (inversa de la resistividad) es elevado en estos materiales. En materiales aislantes, aun cuando se apliquen tensiones elevadas a la estructura del material, la fuerza que se ejerce sobre los electrones de la órbita externa no es suficiente para permitir que estos atraviesen la banda prohibida y puedan establecer una corriente.

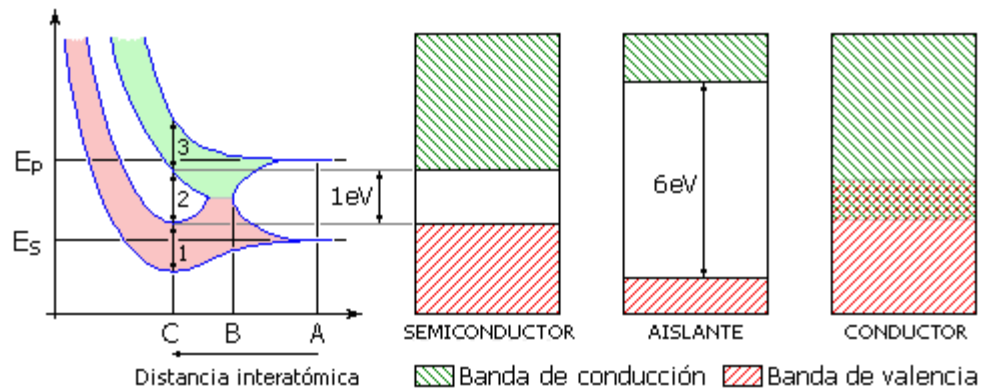


Figura 1 bandas de energía de los materiales <sup>1</sup>

Los materiales semiconductores presentan características intermedias entre conductores y aislantes, el nivel de energía necesario para que los electrones crucen la banda prohibida en estas sustancias es mayor que el necesario en un conductor pero no tan elevado como en el caso de un aislante. El salto de energía entre una banda y otra en un semiconductor es pequeño, por lo que suministrando energía pueden conducir la electricidad y su conductividad puede regularse, puesto que basta disminuir la energía aportada para que sea menor el número de electrones que salte a la banda de conducción; cosa que no puede hacerse con los metales, cuya conductividad es constante o poco variable con la temperatura, puesto que tiene parcialmente llena su banda de conducción, o cuando puede estar vacía pero traslapada con su banda de valencia.

Se puede conseguir un efecto de conversión fotovoltaica en todos los semiconductores; aunque los semiconductores más aptos para la conversión de luz solar son los más sensibles, es decir, aquellos que dan el mayor producto de corriente-tensión para luz visible (la mayor cantidad de energía transmitida por los rayos solares está en las partes visibles del espectro).

<sup>1</sup> Extraído de: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Semiconductor>

El silicio es el material semiconductor más importante para la conversión de energía solar en energía eléctrica. En su forma cristalina pura, este material presenta pocas cargas libres en su interior y una resistividad alta. Mediante un proceso llamado *difusión* se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, que permiten decrecer el valor inicial de resistividad y crear simultáneamente una región tipo p y una región tipo n, de modo de que se produce una unión p-n.

Un átomo del silicio tiene 4 electrones de valencia, que enlazan a los átomos adyacentes. Substituyendo un átomo del silicio por un átomo que tenga 3 o 5 electrones de la valencia producirá un espacio sin un electrón (un agujero), o un electrón extra que pueda moverse más libremente que los otros. La creación de agujeros se logra mediante con un proceso denominado Dopado, se logra por medio de la incorporación en el silicio de átomos que contengan 3 electrones de valencia, generalmente se utiliza el boro.

La creación de electrones adicionales es alcanzada incorporando un átomo con 5 electrones de valencia, generalmente fósforo. Este proceso de dopado puede visualizarse en la Figura 2.

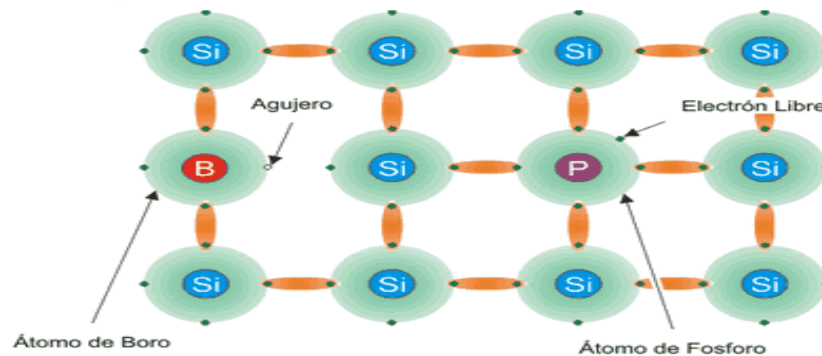


Figura 2: dopado del silicio<sup>2</sup>

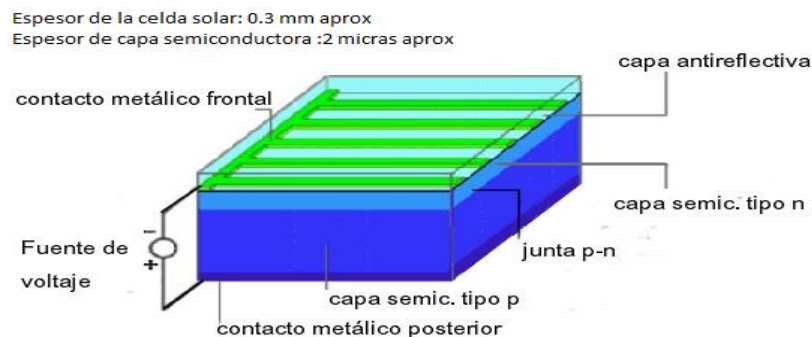


Figura 3: construcción de la celda solar fotovoltaica 3

<sup>2</sup> Extraído de: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

En la Figura 3, se observa un diagrama de la forma en que se construyen generalmente las celdas solares.

Se observa que los principales componentes de la celda FV son las capas adyacentes de materiales semiconductores tipo P y tipo N que se unen en una zona denominada junta o juntura.

Las cargas mayoritarias en cada semiconductor (electrones de un lado y hoyos del otro) no permanecen inmóviles al realizar la juntura, sino que se desplazan hacia la zona adyacente, donde la concentración es baja. Este desplazamiento de cargas acumula cargas positivas en la zona N y negativas en la zona P, creando una diferencia de potencial en la juntura, la que establece a su vez un campo eléctrico en esta zona. El proceso migratorio de las cargas continúa hasta que se alcanza un estado de equilibrio, tal como se muestra en la Figura 4.

Cuando la luz solar que incide sobre la zona adyacente a la juntura tiene el espectro y nivel de energía requerido por el material, las cargas eléctricas creadas por la luz mediante el efecto fotoconductor serán separadas por la por la barrera en cargas positivas en un lado y cargas negativas en el otro, creando una diferencia de potencial entre ambas.

Esta tensión es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo que permite producir trabajo útil.

En el *efecto fotoconductor*, los fotones de la luz incidente generan cargas eléctricas libres. Esto se produce por la fotoionización interna de los átomos o iones que constituyen el cristal del semiconductor (5).

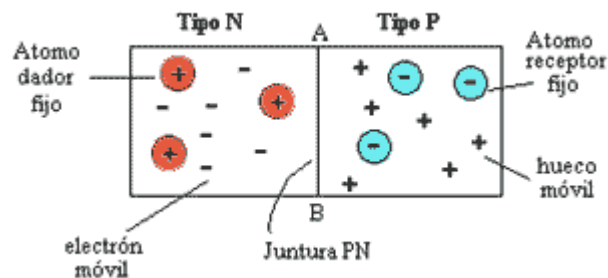


Figura 4 juntura N-P en equilibrio. 4

La tensión generada en la juntura depende del semiconductor empleado. Para las células de silicio este valor es de alrededor de 0,5 V. Como en la unión p-n se genera un campo eléctrico fijo, la tensión generada en una celda FV es de corriente continua. La potencia eléctrica generada por la celda FV en un determinado instante, está dado por los valores instantáneos de tensión y la

<sup>3</sup> Extraído de: <http://www.ecoefecto.com/FV%20intro.htm>

<sup>4</sup> Extraído de: <http://www.reocities.com/Paris/villa/4896/capit1/juntur3.htm>

corriente de salida. El valor de la corriente dependerá del valor de la carga, la irradiación solar, la superficie de la celda y el valor de su resistencia interna. La superficie del material semiconductor expuesta a la luz tiende a reflejar hasta el 30% de la luz incidente, lo que reduce la eficiencia de conversión de la celda. Para disminuir esta reflectancia, sobre la superficie de la celda se coloca una película de material anti reflectante.

#### 4.1.1.1. Tipos de celdas solares fotovoltaicas

Comercialmente se ofrecen diferentes tipos de células solares fotovoltaicas. Algunas son más conocidas y solicitadas por su mayor tiempo de existencia en el mercado. Las células solares FV pertenecen a uno de los siguientes grupos:

- Mono-Cristalinas
- Poli-Cristalinas
- Amorfas

En el mismo orden se dan los costos en el mercado y la eficiencia.

- Estructura Mono-Cristalina fue la primera en ser fabricada, haciendo uso de la misma técnica que se usaba en la manufactura de los diodos y transistores. Son conocidas como CRISTALINAS y abreviada como cSi. El proceso de fabricación de las planchas mono-cristalinas se cortan de un lingote mono-cristalino y éste requiere un alto consumo de energía eléctrica, alrededor de 1400 °C, esto es uno de los factores que elevan su costo en el mercado pero también son los de mayor eficiencia. El silicio utilizado debe ser de alta pureza y tener una estructura cristalina casi perfecta. Se reconoce a simple vista porque su superficie es uniforme. Se nota como un espejo de color gris al exponerse al sol.

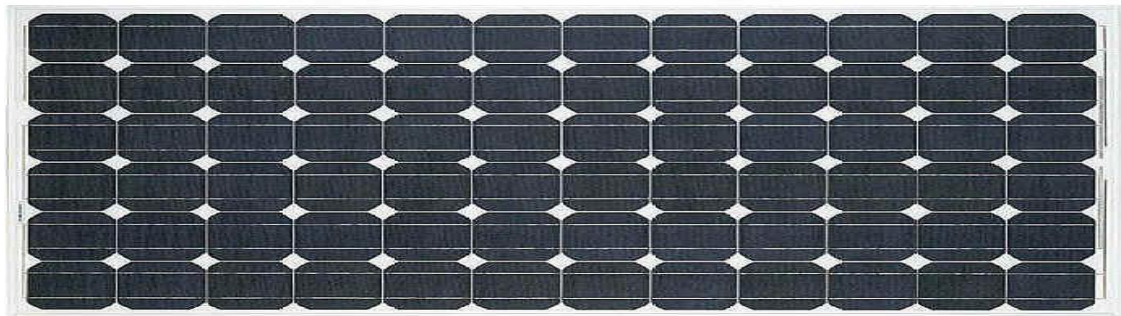


Figura 5: panel solar mono-cristalino 5

<sup>5</sup> Extraído de: <http://www.arrakis.es/~corpotec/paneles/paneles.htm>

- La Estructura Poli-Cristalina (pSi) se obtiene de la fundición del silicio grado industrial el cual se vierte en moldes rectangulares de sección cuadrada dejándolo que se sienta, después de esto, se rebana el molde quedando en forma de planchas. Este proceso de obtener las planchas por medio del moldeo, hace que este tipo de procedimiento necesite menos energía y por lo tanto su costo de producción sea menor que las estructuras mono-cristalinas, con el agravante que no se logra la misma eficiencia, debido que en el proceso de moldeo se obtienen imperfecciones en la estructura cristalina. Se reconocen porque reflejan la luz solar en forma no uniforme y se observan las imperfecciones en el cristal el cual tiene coloración azulada. La firma Kyocera ha llegado a fabricar células pSi con eficiencia de conversión del 15%.

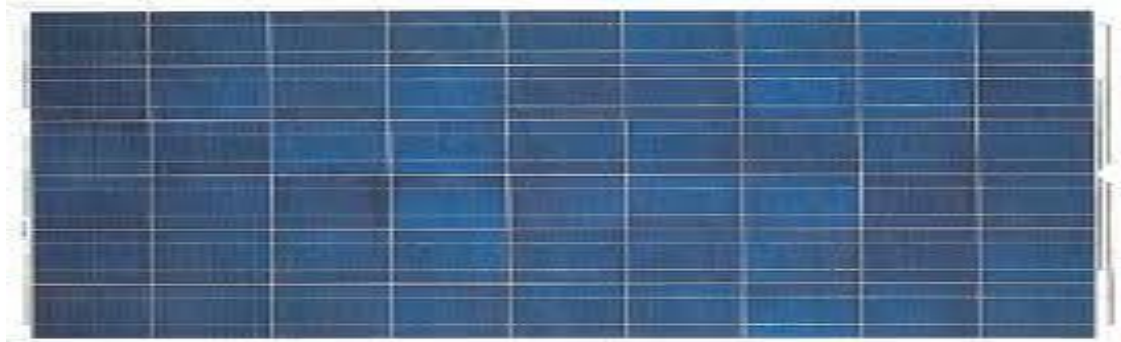


Figura 6 panel solar poli-cristalino.6

- La Estructura Amorfa es el otro tipo conocido en el mercado, ellas no tienen estructura cristalina (a=sin, morfa=forma), lo que permite un abaratamiento en el costo y una más baja eficiencia que las otras dos estructuras.

Es notorio que en la medida que el proceso de fabricación se aleja de la estructura cristalina pura, más defectos estructurales aparecerán en la sustancia semiconductor, los que aumentan la cantidad de cargas libres que son atrapadas, dando como resultado una disminución en su eficiencia de conversión.

---

<sup>6</sup> Extraído de: <http://www.arrakis.es/~corpotec/paneles/paneles.htm>



Figura 7: placa de panel solar amorfo.<sup>7</sup>

- Otro tipo de celda fotovoltaica (FV) es la multijuntura, que considera que en el semiconductor empleado en su fabricación, se generan cargas libres solo en una parte del espectro luminoso. En ellas se emplean un conjunto de celdas de diferentes materiales semiconductores que responden a diferentes frecuencias del espectro luminoso, pero con una sola juntura, apilados de manera que la primera celda capta los fotones de más alta energía dejando pasar el resto que son absorbidos por el resto de células que requieren menores niveles de energía.

Este proceso permite obtener mayor eficiencia de conversión pero aumenta los costos de producción. La compañía UNISOLAR, apila tres junturas, la primera responde a la zona del azul, la segunda la del verde y la tercera al rojo la de menor energía en el espectro. los depósitos activos se hacen sobre una lámina continua de acero inoxidable de bajo espesor que permite que las células sean flexibles. Si se requiere una estructura rígida se le agrega un marco metálico. (3)

#### 4.2. Paneles Solares Fotovoltaicos

Tiene la misión de captar la energía lumínica proveniente del sol para generar una corriente eléctrica. Las células solares producen un nivel de tensión y corriente muy pequeño comparado con los requeridos por los aparatos eléctricos convencionales, además, son extremadamente frágiles, no son aisladas eléctricamente y no poseen soporte mecánico, para lo cual se hace necesario ensamblarlas en una estructura que las contengan que sea única, rígida y hermética, es a lo que se le conoce como el Panel Solar Fotovoltaico.

---

<sup>7</sup> Extraído de: <http://www.solostocks.com/venta-productos/energia-solar/otros-productos-energia-solar/placa-panel-solar-de-silicio-amorfo-40w-6151310>

Las células que componen el panel deben ser iguales esto se logra cuando ellas pertenecen al mismo bloque de silicio. Las células están conectadas eléctricamente entre sí, inicialmente en un circuito serie hasta lograr el valor de tensión deseado y luego estas serie se agrupan y se conectan en paralelo de tal manera que se logre obtener el nivel de corriente esperado a la salida de las conexiones realizadas.

#### 4.2.1. Estructura de los paneles solares.

Es muy común la estructura de “sándwich” adoptada por la mayoría de los fabricantes de paneles FV. En esta estructura las células quedan protegidas mecánicamente.

Los paneles se componen de los siguientes elementos:

- Cubierta frontal
- Material encapsulante
- Células o celdas solares con sus conexiones eléctricas
- Cubierta posterior
- Marco
- Metálico

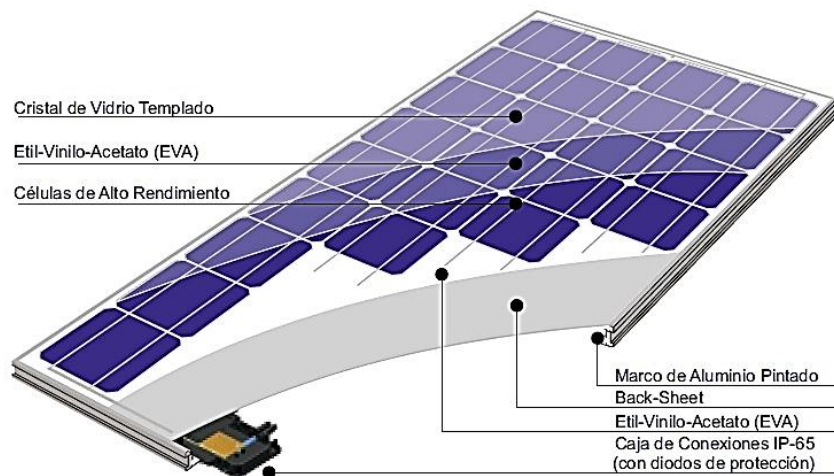


Figura 8 partes del panel solar fotovoltaico. 8

<sup>8</sup> Extraído de :

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/04\\_componen/01\\_generador/01\\_basico/4\\_gene\\_01.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm)



**Detalles constructivos:**

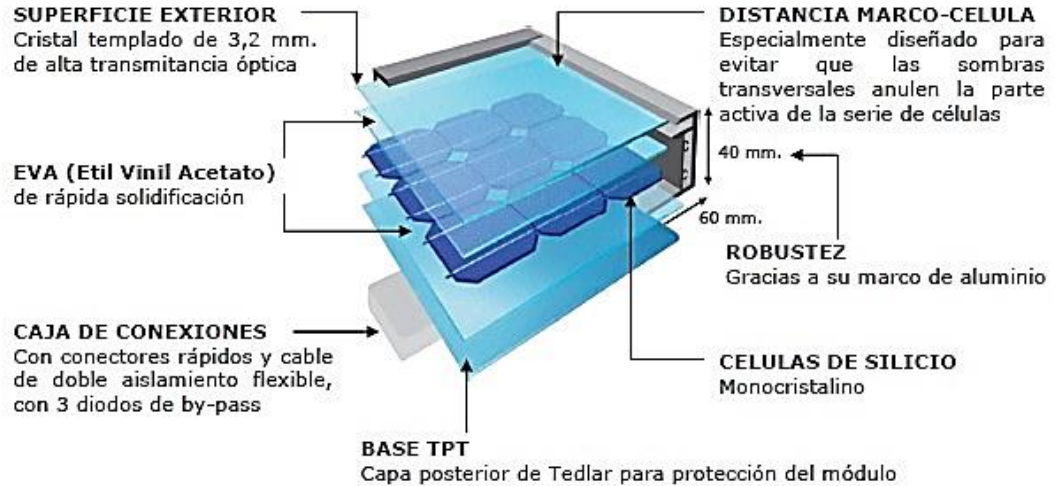


Figura 9: elementos de un panel solar fotovoltaico.<sup>9</sup>

\* La Cubierta Frontal protege a las células contra impactos y contra la influencias del medio ambiente. Es de vidrio templado de 3 a 4 milímetros de espesor. Su textura debe minimizar la reflexión de la luz solar y permitir la transmisión de la luz hacia el material semiconductor cercano al 91%, con bajo contenido en sales de hierro. También se encuentran de materiales orgánicos y plásticos de alta resistencia.

\* El Material Encapsulante es de silicona o un copolímero denominado EVA (etileno-vinil-acetato), se encuentra entre la cubierta frontal y las células. Su índice de refracción es próximo al del vidrio, para evitar pérdidas que se producirían al pasar la luz que deja pasar la cubierta y que debe llegar a las células. Evita la entrada de polvo, agua y la concentración de humedad y por su plasticidad, absorbe las tensiones mecánicas producidas por golpes y dilataciones diferenciales que puedan producirse. Solo las altas temperaturas y altos niveles de iluminación son capaces de degradarla. Los paneles que usan el plástico en la superficie colectora tienen pérdidas hasta de un 20% del valor inicial de transmisividad de la luz hacia las células después de aproximadamente 20 años, pero como el vidrio templado tiene mayor resistencia contra los rayos ultravioleta, solo se tienen pérdidas de un 5%.

<sup>9</sup> Extraído de:

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/04\\_componen/01\\_generador/01\\_basico/images/elem\\_panel.gif](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/images/elem_panel.gif)

\* La Cubierta Posterior sirve de protección y cerramiento al módulo, contra los agentes atmosféricos en especial a la humedad. Formada por capas de aislante eléctrico denominado Tedlar, su coloración blanca opaca, permite devolver los rayos de luz que ha logrado pasar por las células, haciendo que incidan nuevamente en las mismas. Existen paneles con cubierta de aluminio, lo que mejora la disipación de calor al exterior y mayor aprovechamiento de la potencia del módulo.

\* El Marco Metálico es de aluminio anodizado, acero inoxidable o similar, le ofrece rigidez al módulo y las bases para anclarlos en estructuras de soporte con que cuenta permiten que se puedan montar formando estructuras sin necesidad de hacerles perforaciones adicionales. El marco cuenta con una toma de tierra como lo exige el reglamento. El marco se debe aislar de la humedad exterior o presencia de agua colocando a lo largo de su perímetro un material sellante como silicona, neopreno o goma butílica, esto evita oxidación en las conexiones internas que generen mayor resistencia óhmica, o causen la apertura del contacto al semiconductor.

\* Las Cajas de Conexión se fijan firmemente en la parte posterior del panel y donde haya fácil acceso a ellas. Como estarán a la intemperie, se exige un índice de protección adecuado, hermeticidad suficiente que evite las acciones dañinas de los fenómenos atmosféricos. Cuenta con la posibilidad de ser conectado con otros módulos. Las diferentes conexiones internas serie/paralelo de las células, tienen su final en las terminales positiva y negativa que se encuentran en esta caja de conexiones que posteriormente serán conectadas al resto del sistema.

\* Los Diodos By-Pass o diodos de paso protegen al panel contra posibles daños, en los casos en que una sombra en las células hacen que se comporten como una carga. Ellos se encuentran en la caja de conexiones. La conexión del diodo es con polaridad opuesta a las polaridades de las células. Por el diodo no circula corriente cuando las células trabajan correctamente, pero una sombra en las células conectadas en serie, hace que se invierta la polaridad de las mismas, así mismo se invertirá la polaridad del diodo, ofreciendo un camino de poca resistencia para la corriente generada por el resto de los grupos de células. La capacidad de corriente del diodo debe ser igual al doble de la corriente de cortocircuito de la rama de células donde está conectado. Generalmente no se usan en sistemas donde la tensión es de 24 voltios o menos.

Los Diodos de Bloqueo que impiden la circulación de corriente en sentido contrario a su polaridad dejando pasar la corriente en un solo sentido se encargan de evitar la disipación de la electricidad de los paneles o de la batería la que puede llegar a descargarse a través de los paneles por la noche. También evitan que cuando existe sombra en uno o varios de los paneles conectados en paralelo, no exista corriente inversa entre los bloques. Los diodos deben soportar dos veces la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto del campo fotovoltaico.

Mientras que los diodos de bloqueo evitan que un grupo de paneles en serie absorba el flujo de corriente de otro grupo conectado a él en paralelo, los diodos de by-pass impiden que cada módulo individualmente absorba corriente de otro de los módulos del grupo, si en uno o más módulos del mismo se produce una sombra. (2)

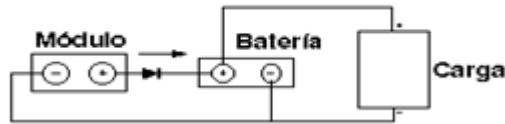


Figura 10: esquema de conexión simplificado

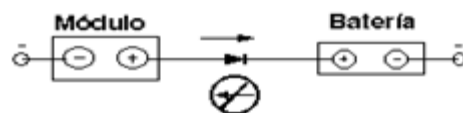


Figura 11: esquema de conexión con diodo de bloqueo

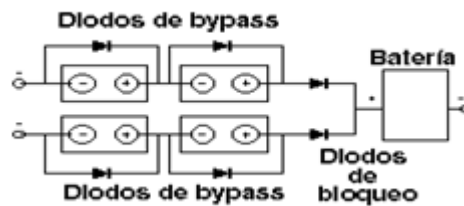


Figura 12: esquema de conexión con diodos de bloqueo y bypass<sup>10</sup>

#### 4.2.2. Conexión de los paneles solares

Como se comentó con anterioridad, es necesario conectar varias células en serie para obtener el valor deseado de tensión y ellas en paralelo para obtener la corriente planeada para su funcionamiento, por ejemplo, teniendo en cuenta que cada célula entrega 0,5 voltios y 2 amperios. Por ejemplo, para obtener 16 voltios se necesitan 32 células conectadas en serie, tensión suficiente para operar equipos a 12 voltios. Normalmente los sistemas están diseñados para trabajar con tensiones en baterías a 12 voltio y sus múltiplos, debido a la estandarización de esta tensión que optaron los fabricantes de baterías.

Los módulos se pueden conectar en el esquema de conexión más adecuado (serie, paralelo o mixto) para obtener la tensión y la corriente necesarios para una determinada aplicación. Lo más importante, es que todos los paneles que

<sup>10</sup> Extraído de: [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/)

pertenezcan a uno de estos arreglos, deben tener las mismas características eléctricas.

#### 4.2.2.1. Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos

Este tipo de conexión, conecta entre sí, todos los terminales positivos de los paneles que pertenecen al arreglo, así como todos los terminales negativos de los mismos, obteniendo un terminal positivo común y un terminal negativo común de todo el sistema interconectado.

Teniendo en cuenta la característica de la conexión paralelo, la tensión final del arreglo, es igual a la tensión individual de cada módulo y la corriente es la suma de todas las intensidades individuales de cada panel.

Hay que tener en cuenta que al aumentar el número de paneles conectados en paralelo, se aumenta la intensidad de corriente y por ende, aumentan las pérdidas por calentamiento en conductores (efecto joule) lo que se hace necesario calcular adecuadamente la sección del conductor a utilizar.

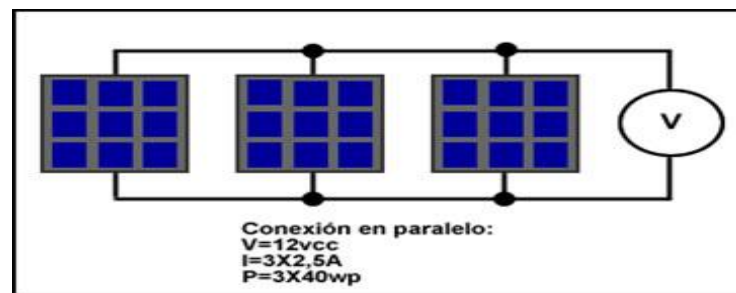


Figura 13: conexión en paralelo de los paneles<sup>11</sup>

#### 4.2.2.2. Conexión en Serie de módulos fotovoltaicos.

Este tipo de conexión persigue obtener la tensión del generador fotovoltaico, se usa 24 o 48 voltios para instalaciones autónomas, y superiores, 96 a 144 voltios para instalaciones conectadas a la red. Se conecta el terminal positivo de un módulo con el terminal negativo del siguiente, hasta obtener la tensión esperada. El terminal positivo del sistema generador estará en el último panel conectado y el terminal negativo en el primero. La corriente de una serie de paneles, será la que puede proporcionar uno solo. De acuerdo a la característica de la conexión serie, si falla uno de los paneles, la serie deja de funcionar.

En el punto de máxima potencia del panel fotovoltaico, al tensión puede llegar a unos 140% de la tensión nominal.

<sup>11</sup> Extraído de: <http://solete.nichese.com/conexion.html>

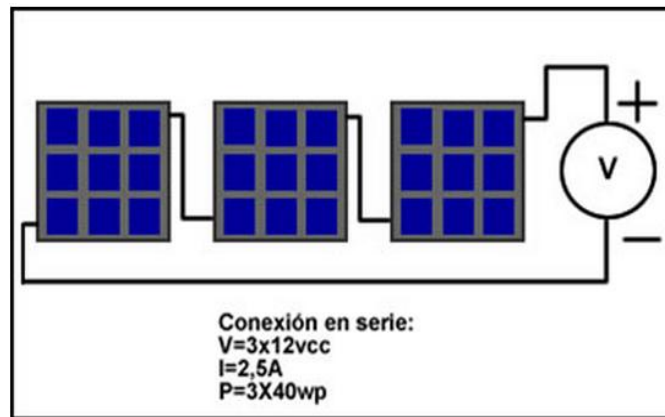


Figura 14: conexión serie de paneles<sup>12</sup>

#### 4.2.2.3. Conexión en Serie/Paralelo (Mixta) de módulos fotovoltaicos.

Escoger la configuración de la conexión es un dilema que se resuelve teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- a. Económico: conexión en paralelo de módulos a 12 voltios hasta obtener la intensidad necesaria para alimentar una pequeña batería de igual tensión eléctrica, con el agravante de tener mayor generación de corriente que llegan a producir pérdidas en conductores y controladores si no se ha realizado una adecuada selección.
- b. Rendimiento: elevando la tensión eléctrica, por ejemplo de 12 voltios a 48 voltios, se reduce la corriente y por lo tanto las pérdidas por efecto joule en conductores y equipos controladores e inversores, con la desventaja de que a esta tensión se encarece la instalación por las baterías.

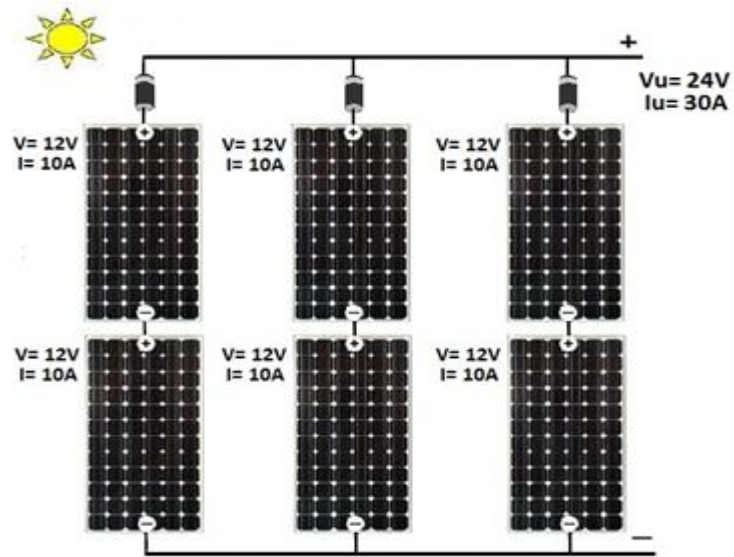


Figura 15 conexión mixta de paneles SFV12

#### 4.2.3. Características de los paneles

Las características de los paneles se definen por los parámetros de Temperatura de Operación Nominales de la Célula (TONC) y la Condición de Prueba Estándar (SRC) los cuales tienen los siguientes valores diferenciadores característicos: (6)

Tabla 1: Condiciones estándar

Condiciones	TONC	SRC
Irradiación	800 W/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup>
Distribución Espectral	AM 1,5	AM 1,5
Temperatura Ambiente	20 °C	25°C
Velocidad del Viento	1 m/s	1 m/s

Los valores de SRC son datos de ensayo mientras que los TONC son típicos de operación.

Los módulos solares FV se definen por los siguientes parámetros eléctricos:

- Punto de Potencia Máxima (Pmax), indica la máxima potencia obtenida en las condiciones especificadas en la tabla anterior bajo la tensión y corriente máxima.

<sup>12</sup> Extraído de: <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

- Tensión eléctrica de Potencia Máxima ( $V_{mp}$ ) es el valor de la tensión cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.
- Intensidad de Potencia Máxima ( $I_{mp}$ ) es la máxima corriente suministrada por el panel a la potencia máxima. Este parámetro representa la corriente nominal del panel.
- Tensión eléctrica de Circuito Abierto ( $V_{oc}$ ) se obtiene en los terminales del panel, al colocarlo bajo una fuente luminosa constante, sin ningún receptor o carga.
- Corriente de Corto Circuito (ICC) al contrario del circuito abierto, si se conectan entre sí los terminales del panel, (condiciones de tensión cero), circulará una corriente máxima medible con un amperímetro de baja impedancia conectado a la salida de los bornes del módulo FV.
- Coeficiente de Temperatura de ICC. Indica, en porcentaje, la variación de la ICC con la temperatura, por ejemplo  $0.05\%/^{\circ}\text{C}$ .
- Coeficiente de Temperatura de VOC. Indica, en  $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , la alteración de la tensión de circuito abierto con la temperatura. Por ejemplo:  $79 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .
- Coeficiente de Temperatura de la Potencia. Indica el signo y valor de la alteración potencia con la temperatura. Por ejemplo  $-0.45\%/^{\circ}\text{C}$ . (7)

Tabla 2: Datos de paneles solares grandes (7)

Potencia nominal (watts)	Tensión de vacío (voltios)	Tensión pico (voltios)	Corriente de cortocircuito (amperios)	Corriente Pico (amperios)	Dimensiones (centímetros)
210	23.1	18.7	12.2	11.23	165.1x95.25x4.58
205	22.8	18.4	12.1	11.15	165.1x95.25x4.58
200	22.5	18.1	12.0	11.05	165.1x95.25x4.58
195	22.3	17.8	11.9	10.96	165.1x95.25x4.58

Si bien los valores dados en la tabla anterior son datos a condiciones óptimas de operación tales como distribución espectral (AM), irradiación, velocidad el viento o temperatura ambiente, es importante considerar las variaciones de los parámetros eléctricos ante las posibles variaciones de estas condiciones. Por esta razón, cada fabricante suministra las curvas I vs V de sus paneles ante condiciones diferentes indicadas en la tabla anterior.

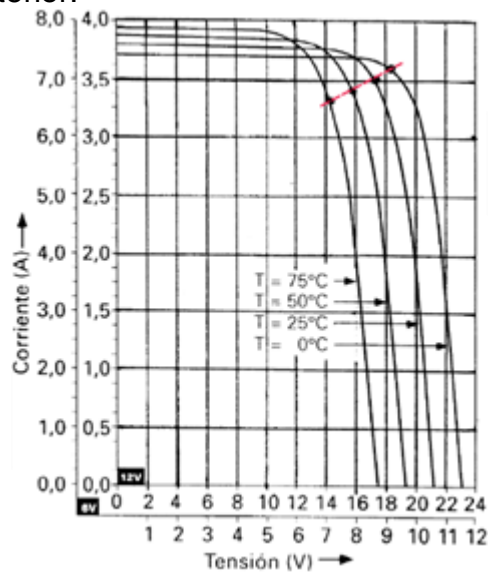


Figura 16: efecto de la temperatura sobre el comportamiento de un panel SFV13

<sup>13</sup> Extraído de: <http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>



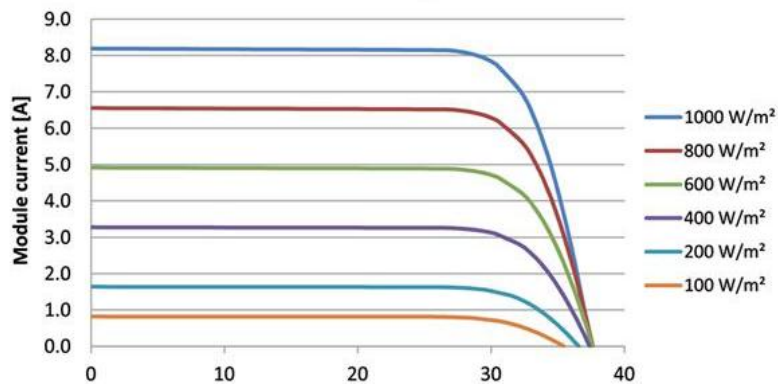


Figura 17: efectos de la insolación sobre el comportamiento de un panel SFV14

Los datos de placa de los paneles solares son verificables en condiciones estándar de prueba (1 Kw/m2 y 25°C). En la realidad, durante su operación, la irradiancia y la temperatura raramente corresponden a estas condiciones, y por lo tanto, no se obtienen datos de placa como una constante con la que se pueda contar permanentemente. La irradiancia afecta la corriente y la potencia del módulo en forma proporcional, pero no a la tensión en forma apreciable, por ejemplo, un módulo FV puede producir el 50% de su potencia nominal cuando la irradiancia es de 0.5 kW/m2. La temperatura de la celda afecta a la tensión y la potencia del módulo, pero el efecto ahora es menor. Se puede esperar una reducción en tensión y potencia de aproximadamente 0.5% por cada grado Celsius en la células por encima de 25°C. Los módulos FV operan típicamente a una temperatura de celda de alrededor de 55°C, lo cual significa que a plena irradiancia solo pueden producir 85% de la potencia nominal:  $0.5\% \times (55^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) = 15\%$  (7).

En términos generales, los módulos solares FV deben cumplir la norma NTC 2883, la cual indica los requisitos para la calificación para el diseño y la aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos para aplicación terrestre y para una utilización de larga duración en climas moderados al aire libre, según se define en la norma IEC 60721-2-1. Se aplica únicamente a módulos de silicio cristalino. (8)

En la siguiente tabla se resume los diferentes ensayos a los que deben someterse los módulos solares FV. Si dos o más módulos no satisfacen estos criterios de ensayo, se considera que el diseño no responde a los requisitos de calificación.

<sup>14</sup> Extraído de: <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html>

Tabla 3: Resumen de los niveles de ensayo.

Ensayo	Título	Condiciones de ensayo
10.1	Inspección visual	Ver lista detallada numeral 10.1.2
10.2	Determinación de la potencia máxima	Véase norma IEC 60904-1
10.3	Ensayo de Aislamiento	Dieléctrico debe resistir a 1000 V d.c. + dos veces la tensión máxima del sistema durante 1 min.  Para módulos con un área menor que 0.1 m <sup>2</sup> , la resistencia de aislamiento no debe ser menor que 400 MΩ. Para módulos de áreas mayores que 0.1 m <sup>2</sup> la resistencia de aislamiento medida por el área del módulo no debe ser menor que 40 MΩm <sup>2</sup> medida a 500 V a la tensión máxima del sistema, la que sea mayor.
10.4	Medición de los coeficientes de temperatura	Véase los detalles en el numeral 10.4  Véase la norma IEC 60904-10 como guía
10.5	Medición de la TONC	Irradiancia solar total: 800W.m <sup>2</sup>  Temperatura ambiente: 20°C  Velocidad del viento: 1 m/s
10.6	Desempeño a STC y TONC	Temperatura de la célula: 25°C y TONC  Irradiancia: 1000 W.m <sup>2</sup> y 800 W.m <sup>2</sup> con distribución espectral de irradiancia de referencia según la norma IEC 60904-3
10.7	Desempeño a baja irradiancia	Temperatura de La célula: 25°C  Irradiancia 200 W.m <sup>2</sup> con distribución espectral de irradiancia de referencia según la norma IEC 60904-3
10.8	Ensayo de exposición en el exterior	60 KWh.m <sup>2</sup> de irradiación solar total
10.9	Ensayo de resistencia a la formación de Puntos calientes	5 h de exposición a una irradiancia de 1000 W.m <sup>2</sup> en el caso más desfavorable de condición de punto caliente
10.10	Ensayo pre acondicionamiento con	15 KWh.m <sup>2</sup> de irradiación total UV con longitudes de onda en el rango de 280 nm a 385 nm con 5 KWh.m <sup>2</sup> de irradiación UV en el rango de

	Radiación UV	onda de 280 nm a 320 nm
10.11	Ensayo de ciclos térmicos	50 y 200 ciclos desde -40°C hasta 85°C con STC y corriente máxima de suministro durante 200 ciclos
10.12	Ensayo de humedad-congelación	10 ciclos desde 85°C, 85% HR hasta -40°C
10.13	Ensayo continuo de calor húmedo	1000 h a + 85°C, 85% HR
10.14	Ensayo de robustez de los terminales	Según IEC 60068-2-21
10.15	Ensayo de corriente de fuga por Humedad	Véase detalles en el numeral 10.15  Para módulos con un área menor que 0.1 m <sup>2</sup> la resistencia de aislamiento no debe ser menor que 400 MΩ. Para módulos con áreas mayores que 0.1 m <sup>2</sup> la resistencia de aislamiento medida por el área del módulo no debe ser menor que 40 MΩ.m <sup>2</sup> medida a 500 V o la tensión máxima del sistema, la que sea mayor
10.16	Ensayo de carga mecánica	Tres ciclos de carga uniforme de 2400 Pa, aplicada durante 1 h a un lado y a otro de las superficies, sucesivamente.  Carga de nieve opcional de 5400 Pa durante el último ciclo sobre la superficie frontal.
10.17	Ensayo de resistencia al granito	Bola de hielo de 25 mm de diámetro a 23 m/s, dirigida sobre 11 puntos de impacto
10.18	Ensayo térmico del diodo de Bypass	Una hora a I <sub>sc</sub> y 75°C  Una hora a 1,25 veces I <sub>sc</sub> y 75°C
Nota: estos ensayos pueden ser omitidos cuando se verifique la norma IEC 61853 sobre el módulo tipo.		

#### 4.2.3.1. Orientación óptima de los paneles SFV

Al transcurrir del año, podemos observar que varían los puntos por donde sale el sol (orto) y por donde se oculta (ocaso). El 21 de marzo, fecha del equinoccio de primavera, el sol aparece por el Este y se oculta por el Oeste. Los días y meses siguientes se observa que estos puntos por donde sale el sol, se corren hacia el

norte, primero muy rápido y luego más lento, hasta llegar el 21 de junio, fecha del solsticio de verano, donde el sol alcanza su altura máxima.

A partir del 21 de junio los puntos se alejan del Norte y se acercan al Este y al Oeste, volviendo a ocupar las mismas posiciones el 22 o 23 de septiembre presentándose el llamado Equinoccio de Otoño. Luego se acercan al punto sur, hasta llegar el 21 de diciembre el cual es el Solsticio de Invierno, del cual se vuelven a alejar. Después de transcurrir el año vuelven a coincidir con los puntos Este u Oeste.

En términos generales observamos que el sol aparece por el Este, se desplaza en dirección Sur y se pone por el Oeste.

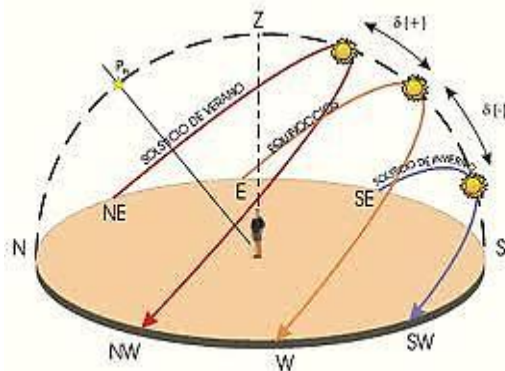


Figura 18: percepción del movimiento del sol alrededor de la tierra-a

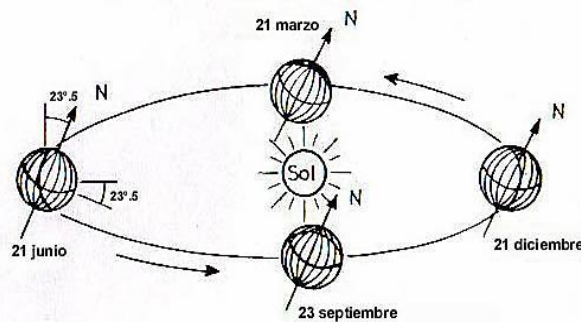


Figura 19: percepción del movimiento del sol alrededor de la tierra-b<sup>15</sup>

La orientación de los paneles se determina teniendo en cuenta dos ángulos:

<sup>15</sup> Extraído de: <http://astrocienciasecu.blogspot.com/2012/09/curso-de-astronomia-parte-1-astronomia.html>

- Ángulo azimutal de la superficie ( $\delta$ ): es el ángulo entre la proyección de la normal a la superficie en el punto horizontal y la dirección sur-norte para lugares situados en el hemisferio norte, o norte-sur para locaciones en el hemisferio sur

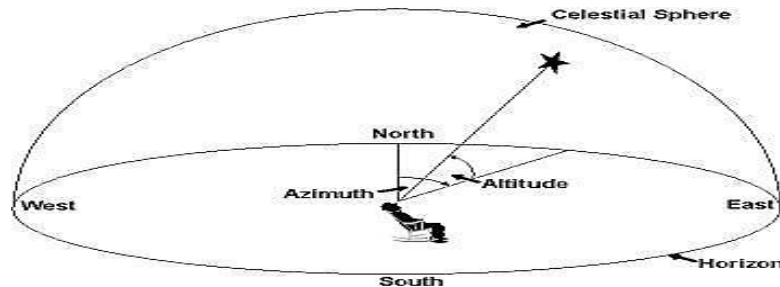


Figura 20: ángulo azimutal. 16

- Inclinación ( $\beta$ ): es el ángulo entre el plano de la superficie del panel respecto a la horizontal.

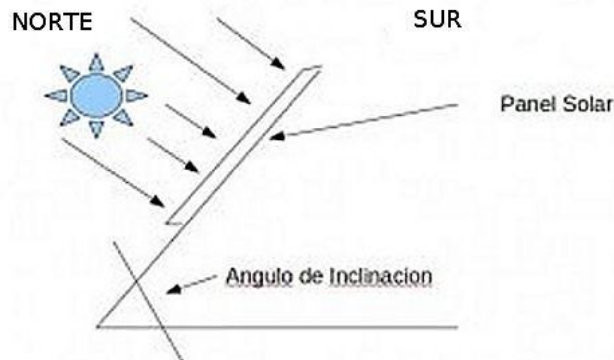


Figura 21 ángulo de inclinación. 17

Para obtener el mayor provecho de los paneles SFV, se requiere de luz solar plena o directa, y esto se logra orientando el panel perpendicularmente respecto al sol. Para un montaje de los paneles en una estructura fija, la radiación solar se aprovecha al máximo en el hemisferio Norte orientando al panel hacia el SUR y en el hemisferio Sur, orientando al panel hacia el Norte. Por lo tanto, para nuestra ubicación geográfica, para este estudio realizado en Colombia, ubicado al norte del Ecuador, se elige orientación hacia el Sur.

En invierno, el sol no alcanza el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles deberían colocarse en posición ligeramente horizontal para aprovechar al máximo las radiaciones solares. Pero si esta posición se mantiene,

<sup>16</sup> Extraído de: <http://orionespiritual.blogspot.com/2011/06/altitud-y-azimut.html>

<sup>17</sup> Extraído de: <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com/esquema-de-instalacion-de-paneles-solares-termicos-y-fotovoltaicos/>

en invierno los paneles no estarían en posición óptima. Para evitar esta situación, los paneles deberían estar instalados sobre un mecanismo de anclaje que le permita girar sobre sus ejes horizontal y vertical. Esta instalación tiene la desventaja de aumentar los costos del sistema.

La inclinación de los paneles se establece en función de la latitud del sitio de instalación, para nuestro caso, que nos encontramos en la latitud  $11^{\circ}53'$ , esta sería la inclinación óptima.

Pequeñas variaciones respecto al ángulo óptimo de inclinación, no llegan a afectar considerablemente el rendimiento energético del sistema captador, lo que es aproximadamente un 0.08% por cada grado de desviación respecto a la orientación óptima.

En ciertos casos es recomendable seleccionar una inclinación distinta a la latitud del sitio para que la insolación sobre el arreglo coincida con el patrón de demanda de energía del proyecto.

En cualquier caso es recomendable una inclinación superior a los  $10^{\circ}$  lo que evita el estancamiento de agua y acumulación de polvo y para los fines de orientación se puede usar el sur magnético que indica una brújula. Este sur magnético puede ser diferente al sur verdadero (por donde el sol está al mediodía), debido a la inclinación magnética del sitio, esto no representa un problema a menos que sobrepase  $15^{\circ}$ . En Latinoamérica esto ocurre solo en el extremo Este de Brasil.

#### **4.2.4. La Batería**

También llamada acumuladores, son dispositivos que debido a sus características constructivas, tienen la capacidad de almacenar energía en su interior para luego ser usada en horas, sirven para acumular la energía generada por los paneles. En el sistema fotovoltaico se usan porque ellas tienen la posibilidad de suministrar una corriente superior a la que puede entregar un panel, pueden entregar la energía que no puede producir un panel, por ejemplo, por la noche cuando no se tiene sol, de manera que permite la operación de cargas durante los periodos de poco sol, sirven para estabilizar la tensión eléctrica, independiente de las condiciones de incidencia luminosa, lo cual es muy importante para el funcionamiento de los aparatos eléctricos que se conectarán al sistema, además también sirven para absorber transitorios.

Para efecto de conocer la terminología relacionada con las baterías, a continuación se relacionan las siguientes definiciones: (8)

**Material Activo:** los constituyentes de una celda, incluyendo el electrolito, que participan en la carga electroquímica o en la reacción de descarga.

**Ánodo:** el electrodo de una celda electroquímica en la que tiene lugar la oxidación química. Durante la carga, el terminal positivo de la celda es el ánodo. Durante la

descarga, la situación se invierte y el terminal negativo de la celda es el ánodo. Sin embargo, algunos fabricantes llaman ánodo al terminal negativo tanto durante la carga como en la descarga.

Autonomía: el periodo de tiempo durante el cual una batería a plena carga puede satisfacer la demanda sin contribución del sistema fotovoltaico o de la fuente auxiliar de energía: generalmente se define en términos de días (periodos de 24 h)  
Capacidad (C): En general, el número total de amperios-hora que se puede obtener de una celda de una batería plenamente cargada.

Capacidad Disponible: El número total de amperios-hora que se puede obtener de una celda o de una batería para un conjunto específico de condiciones de operación; entre éstas, régimen de descarga, temperatura, estado inicial de la carga, edad y la tensión de corte.

Capacidad de energía: el número de vatios hora (kilovatios-hora) que se puede obtener de una celda o de una batería con carga plena. La capacidad de energía de una celda dada varía con la temperatura, con la rapidez de descarga, con la edad y con la tensión de corte.

Capacidad Instalada: el número total de amperios-hora que se puede obtener de una celda o de una batería nueva cuando se descarga hasta la tensión de corte especificado para el sistema, al régimen y a la temperatura de diseño (es decir, descarga hasta la máxima descarga especificada en el diseño del sistema).

Capacidad Nominal: la clasificación indicada por el fabricante en cuanto al número total de amperios-hora que se puede obtener de una celda o de una batería nueva para un régimen de descarga, de temperatura y de la tensión final de descarga.

Cátodo: es el electrodo en una celda electroquímica en la cual tiene lugar la reducción química. Durante la carga, el terminal negativo de la celda es el cátodo. Durante la descarga, la situación se invierte y el terminal positivo de la celda es el cátodo. Sin embargo, a veces los fabricantes llaman cátodo al terminal positivo tanto en la descarga como durante la carga.

Celda: la unidad electroquímica básica utilizada para acumular energía eléctrica.

Régimen de carga: la corriente aplicada a una celda o a una batería para restaurar su capacidad disponible. Este régimen suele ser estándar con respecto a la capacidad nominal de la celda o de la batería. Por ejemplo, el régimen de carga de 10h para una celda o una batería de 500 A-h.

$$\frac{\text{Capacidad nominal}}{\text{Tiempo de carga}} = \frac{500 \text{ A} - \text{h}}{10\text{h}} = 50 \text{ A} = \text{régimen de } C/10$$

Para la misma celda o batería, un régimen de carga de 5h se designaría como régimen C/5 y daría como resultado una corriente de carga de 100 A. la eficiencia

amperio-hora de baterías secundarias es menor del 100%. Por lo tanto, el tiempo requerido para recargar completamente una celda a partir de una celda a partir de una descarga profunda del 100% es a menudo más largo que el indicado por el así llamado “régimen-hora”.

Carga: conversión de energía eléctrica en energía potencial química dentro de una celda, mediante el paso de una corriente directa en dirección opuesta a aquella de la descarga.

Tensión de corte (tensión al final de la descarga, también se denomina tensión final): es la tensión de la celda o de la batería hasta la cual se completa la descarga. La tensión de corte es especificada por el fabricante de la celda y depende del régimen de descarga. Una descarga más allá de la tensión de corte especificado, suele dar como resultado disminuciones cada vez más rápidas en la tensión de la celda y en la salida de energía. Puede dañar la celda en forma permanente e invalidar la garantía del fabricante.

Ciclo: una secuencia de descarga-carga hasta un nivel especificado de descarga.

Ciclos de vida: el número de ciclos, para una descarga especificada a una temperatura fija. Que una celda o una batería pueden experimentar antes de dejar de satisfacer los criterios especificados de capacidad o de eficiencia.

Servicio del ciclo: un ciclo de servicio caracterizado por secuencias frecuentes y, a menudo, profundas de descarga-carga, tales como las aplicaciones de fuerza motriz, o los sistemas híbridos fotovoltaicos con carga auxiliar.

Descarga profunda: descarga de un porcentaje significativo de la capacidad nominal (50% o más).

Servicio de descarga profunda: baterías que en servicio de descarga profunda se pueden descargar hasta en un 80% o inclusive, un 100% de su capacidad nominal de 5h a 6h, diariamente.

Profundidad de descarga: los amperios-hora extraídos de una celda o una batería con carga plena, que se expresan como un porcentaje de su capacidad nominal. Por ejemplo, la extracción de 25 A-h de una celda con carga plena nominal de 100 A-h da como resultado una profundidad de descarga del 25%. A ciertas condiciones, tales como las de regímenes de descarga menores que los utilizados para clasificar la celda, la profundidad de descarga puede pasar del 100%.

Descarga: el proceso de extraer corriente de una celda o de una batería mediante la conversión de energía química en energía eléctrica.

Régimen de descarga: la corriente extraída de una celda e de una batería. Este régimen se puede expresar en amperios, pero, más comúnmente, se estandariza



para la capacidad nominal (C), y se expresa como C/X. por ejemplo una extracción de 20 A de una celda con una capacidad de 100 A-h se menciona como el régimen de descarga de C/5 (100A-h/20A) analógicamente, las corrientes de descarga de 5 A, 10 A y 33,3 A se designarían como los regímenes de C/20, C/10 y C/3 respectivamente.

Régimen de descarga equivalente (régimen hora funcional): este régimen-hora se determina dividiendo la capacidad final, incluyendo el margen de diseño, por la corriente máxima extraída (corriente pico coincidente).

Ciclo de servicio: el régimen de operación de una celda o de una batería, incluyendo factores tales como los regímenes de carga y descarga, la duración del ciclo y el periodo de tiempo en receso.

Eficiencia (%): la relación entre la salida útil y la entrada.

Eficiencia en amperios-hora: la relación entre los amperios-hora extraídos de una celda o de una batería durante una descarga y los amperios-hora requeridos para restaurar la capacidad inicial.

Eficiencia de la energía (vatios-hora): la relacione entre la energía entregada por una celda o una batería durante una descarga y la energía total requerida para restaurar el estado inicial de la carga.

Eficiencia de la tensión: la relación entre la tensión de descarga promedio de una celda o de una batería y la tensión de carga promedio durante la restauración siguiente a una capacidad equivalente.

Par electroquímico: el sistema de materiales activos dentro de una celda, que permite la acumulación de energía eléctrica a través de una reacción electroquímica.

Electrolito: el medio que permite el transporte de iones entre los electrodos positivo y negativo de una celda. En algunas celdas, tales como las tipo plomo ácido, el electrolito también puede participar directamente en las reacciones de carga o de descarga electrolítica.

Tensión final de la carga: la tensión de una celda o de una batería a la cual se suele finalizar la carga, cuando se utiliza una fuente constante de corriente de carga.

Tensión final de la descarga: es la tensión de corte mencionada con anterioridad.

Carga de igualación: una prolongación de la carga normal de la batería, a un nivel de tensión ligeramente más alto que la tensión normal al final de la carga, para suministrar igualación de la celda en una batería.

Régimen de finalización de carga: el régimen especificado para cargar una celda o de una batería que está casi en su estado de carga del 100%.

Formación: durante la manufactura o la instalación, el proceso por el cual los materiales del electrodo se transforman en las composiciones requeridas para la operación de la celda. Por ejemplo, los materiales activos de una celda de ácido de plomo con carga plena con plomo puro para las placas negativas y bióxido de plomo para las placas positivas. Sin embargo, ambos tipos de placas se fabrican utilizando óxido de plomo. Durante un ciclo de carga de diseño especial, el óxido de plomo de las placas negativas se reduce y el óxido de plomo de las placas positivas se oxida, con lo cual se forman los materiales activos.

Gasificación: la producción de gas a partir de uno o más de los electrodos de una celda. La gasificación suele resultar a partir de la electrolisis de agua en el electrolito durante la carga.

Rejilla: una estructura eléctricamente conductora que mantiene el material activo de una placa, pero que no participa químicamente de la reacción normal de carga o de descarga.

Régimen-hora: el régimen de descarga de una celda p una batería, expresado en función del periodo de tiempo en el cual una celda o una batería nueva con carga plena se puede descargar a una corriente específica, antes de alcanzar la tensión de corte.

$$\text{Régimen-hora} = C/i$$

En donde:

C = capacidad nominal, A-h

i= corriente de descarga especificada, A

Por ejemplo, si una celda nueva con carga plena nominal a 100 A-h se puede descargar a 20 A durante un periodo de 5h, antes de alcanzar la tensión de interrupción, la descarga de la batería a 20 A se menciona como régimen de 5h (C/i = 100 A-h/20A).

La capacidad disponible disminuye con el incremento del régimen de descarga. Por lo tanto, no siempre se puede calcular la corriente de descarga mediante la

división del tiempo de descarga por la capacidad nominal. Por ejemplo, una batería, con capacidad nominal de 100 A-h al régimen de 5h, solo puede entregar 88 A-h al régimen de 3h antes de alcanzar la tensión de corte.

Horas de capacidad: el número total de horas durante las cuales una celda o una batería con plena carga tiene capacidad para satisfacer la demanda de carga del sistema antes de alcanzar la tensión de corte.

Vida útil: el periodo durante el cual una celda o una batería tiene capacidad para funcionar a un nivel de capacidad o de rendimiento especificado. La vida útil se puede medir en ciclos, en años o en ambos. Dependiendo del tipo de servicio para el cual se destina la celda o la batería.

Baterías libres mantenimiento (también se les llama “reguladas por válvula”) una celda o una batería en la cual el usuario no tiene acceso al electrolito. Esto también incluye las baterías conocidas como baterías selladas.

Celda Batería para potencia motriz: una celda o una batería destinada a impulsar equipo móvil operado eléctricamente (es decir, camiones grúa) y que está diseñada para funcionar en un régimen diario de ciclo profundo a tasas moderadas de descarga.

Tensión nominal de operación: la tensión terminal aproximada de una celda o una batería, ejemplo 12 V, 48 V, etcétera.

Capacidad nominal de reserva: el periodo durante el cual una batería con carga plena puede suministrar una corriente fija a una tensión de corte especificado y es especificada por el fabricante en unidades de tiempo.

Días sin sol: número de días consecutivos equivalentes durante los cuales no funciona el sistema debido a las condiciones atmosféricas. Esta información se deriva de los datos climáticos locales.

Tensión de circuito abierto: la tensión terminal de una celda o de una batería en un estado específico de carga y de temperatura, a condiciones de no carga y de carga.

Sobrecarga: el forzamiento de corrientes a través de una celda después de que todo el material activo se ha convertido al estado cargado. En otros términos, la carga continúa después de la cual se ha logrado el 100% del estado de carga. La sobrecarga no aumenta la energía almacenada en una celda y, con algunos tipos de baterías, puede reducir la vida útil de la misma. Como regla práctica, por cada amperio-hora de sobrecarga se descomponen 0.33 cm<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O en Hidrógeno y oxígeno.

Placa: un ensamble de material activo y, en algunos casos, con una rejilla de soporte. Las placas forman los electrodos positivos y negativos de la celda.

Celda o batería primaria: una celda o una batería cuya capacidad inicial no se puede restaurar en forma significativa mediante la carga y, por lo tanto, está limitada a una sola descarga.

Inversión: descarga continua de una celda hasta el cambio de polaridad de sus terminales eléctricos.

Celda o batería secundaria: una celda o una batería que tiene capacidad para recargarse repetidamente.

Autodescarga: el proceso por el cual la capacidad disponible de una celda se reduce mediante reacciones químicas internas.

Régimen de Autodescarga: la cantidad de reducción en la capacidad que ocurre por unidad de tiempo en una celda, como resultado de Autodescarga.

Separador: un material eléctricamente no conductor y permeable a los iones, que se utiliza para evitar el contacto directo de las placas individuales dentro de una celda.

Descarga superficial: descarga de no más del 25% de la capacidad hora-nominal "x" (en donde "x" puede ser 5, 8,10 o algún otro valor según lo defina el fabricante).

Servicio de descarga superficial: cuando las baterías se descargan (en general) menos del 25% de su capacidad nominal en 8h sobre una base diaria y hasta un 80% sobre el periodo de autonomía. El número máximo de descargas permisibles del 80% por año es especificado por el fabricante.

Batería SLI: batería de arranque, iluminación e ignición (batería automotriz estándar) diseñada principalmente para la operación de alto régimen y baja profundidad de descarga que es típica al arrancar el motor de un automóvil.

Celda o batería estacionaria: una celda o una batería diseñada para usarla en una localización fija.

Batería SLI modificada: la modificación que se realizó a la batería SLI fue la de introducir mayor cantidad de electrolito en el espacio sobre las placas y el uso de placas más gruesas. También son conocidas como baterías solares y representa una importante alternativa en el diseño de sistemas SFV.

Estado de carga: la capacidad disponible en una celda o en una batería, que se expresa como un porcentaje de su capacidad nominal. Por ejemplo, si se le ha

extraído 25 A-h de una celda con carga plena de 100 A-h, el nuevo estado de carga el 75%.

Sulfatación: la formación de cristales de sulfato de plomo sobre las placas de una batería de ácido de plomo. La sulfatación puede ser causada por dejar la batería en un estado menor que la descarga plena durante periodos largos de tiempo, en especial a temperaturas elevadas.

Ventana de tensión (carga): el intervalo de tensión sobre el cual la carga puede operar aceptablemente sin daño o sin disfunción.

Ventana de tensión (batería): el intervalo entre la tensión de corte y la tensión final de la carga (9).

Las baterías usadas en sistemas SFV, deben cumplir las siguientes exigencias:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar
- Mínimo mantenimiento o si es posible: nulo
- Transporte e instalación muy fácil.
- Muy baja Autodescarga
- Elevado rendimiento
- Larga vida útil

En términos generales, la batería almacena energía convirtiéndola en energía eléctrica por medio de una reacción química. Los acumuladores están formados por dos electrodos sumergidos en un electrolito donde tiene lugar las reacciones químicas ocasionadas en la carga y la descarga.

#### **4.2.4.1. Tipos de baterías.**

Comercialmente se encuentran dos grandes grupos: las de plomo ácido, con sus diferentes versiones, que son las más usadas por su precio, y las de Níquel-Cadmio (Ni-Cd), de muy buenas características pero mayor costo de adquisición. Las baterías de ciclo profundo se diseñan con placas gruesas especialmente para los sistemas solares FV que soportan descargas repetitivas por horas sin sufrir daño importante, mientras que las llamadas baterías de arranque, sus placas son más frágiles y entregan una elevada corriente en segundos.

##### **4.2.4.1.1. Baterías de plomo ácido.**

Compuesta por una placa de plomo (negativa-cátodo) y otra de plomo cubierta de dióxido de plomo (positiva-ánodo) embebida en un electrolito que contiene 35% de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y 65% de solución de agua, donde se produce la reacción química originándose los electrones. Se encuentran más comúnmente las de

plomo-antimonio (Pb-Sb) y de plomo-calcio (Pb-Ca). La concentración de ácido en estado de 100% de carga, presenta una gravedad específica de 1.260 a 1.285.

Durante el uso de la batería, descargando el  $\text{SO}_4$  en el electrolito, se combina con el dióxido de plomo sobre la placa positiva para formar  $\text{PbSO}_4$ , esta reacción diluye el ácido, y si éste, en forma diluida, se deja por un periodo largo de tiempo, reaccionará con la placa negativa y formará una capa dura de sulfato sobre la misma, lo que hace que la recarga se dificulte.

Esta reacción, que ocurre en el proceso de descarga de la celda, se puede invertir y así restaurar la carga de la celda, aplicando corriente directa en dirección opuesta al flujo de corriente de descarga (7).

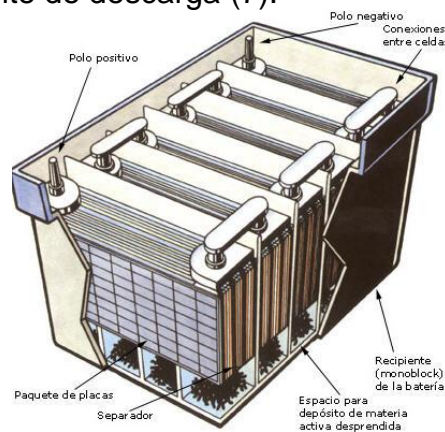


Figura 22: esquema de una batería de plomo ácido.<sup>18</sup>

#### 4.2.4.1.2. Baterías de plomo ácido con válvula regulada

Estas son una variante de las baterías de plomo ácido, trabajan con un electrolito que tiende a desaparecer en los cuales las cantidades de electrolito está limitada a la cantidad que puede ser absorbida por las placas o humedecer los separadores. En términos generales, el electrolito se encuentra inmobilizado y los gases productos de sobrecargas, se recombinan para formar agua dentro de la batería. No es necesario recargar con agua las baterías de este tipo debido a que son selladas.

La válvula entra en servicio cuando se presenta una sobrecarga para que prevenga la ruptura de la caja o carcasa de la batería. Tienen un bajo ciclo de vida.

<sup>18</sup> Extraído de: <http://blog.technosun.com/?cat=19>



Figura 23 batería de plomo ácido con válvula reguladora. 19

Las baterías de ácido diluido tienen las dificultades de que el ácido sulfúrico que contienen es peligroso y ha sido el origen de innumerables accidentes. Las no selladas generan hidrógeno durante la carga con posibilidad de llegar a explotar en caso de no trabajarlas en buenas condiciones. Requieren un mantenimiento regular debido a la necesidad de ir añadiendo agua destilada al interior. En cuanto al precio, son las más baratas por lo que aún son las más compradas en el mercado.

#### 4.2.4.1.3. Baterías tipo gel

En este tipo de celda, se forma una capa delgada de gel mezclando el electrolito con un agente gelificante (fluoruro de Silica) su característica de ser sellada le permite trabajar en cualquier posición (de lado o boca arriba) sin la dificultad de derrame del electrolito de su interior. Las sobrecargas y las sobredescargas afectan su calidad, a menos que sean expuestas a periodos cortos de estas dos situaciones.

La robustez de las baterías tipo gel, le permiten tolerar mejor el calor y las cargas, comparadas con las de plomo-ácido. Son más costosas que las baterías de plomo ácido pero son de más fácil transporte.

---

<sup>19</sup> Extraído de: <http://www.directindustry.es/prod/yuasa/baterias-acido-plomo-con-valsula-reguladora-vrla-12414-360996.html>



Figura 24: batería tipo gel.<sup>20</sup>

Las baterías de gel, se popularizaron debido a que ofrecieron mejor eficiencia respecto a las de ácido líquido, y sobre todo, por la seguridad. En ellas el ácido se encuentra inmovilizado en el interior añadiendo una sustancia al ácido que lo deja en un estado gelatinoso, sellando la batería después. Los gases emitidos durante la carga se recombinan en el interior en su mayoría, y no necesitan mantenimiento.

Las dificultades que afronta las baterías tipo Gel se encuentran en que el electrolito en gel es muy viscoso y durante los procesos de carga puede desarrollar huecos o grietas, repercutiendo en la eficiencia de la batería. Además durante la carga, el gel se licua y puede tardar alrededor de una hora en volver al estado gelatinoso, tiempo durante el cual el ácido es susceptible de moverse o incluso salir al exterior si la batería tiene algún escape. Además, durante este proceso, las baterías de gel generan hidrógeno que no se recombina y queda almacenado en el interior. Si se produce una sobrecarga este hidrógeno puede escapar al compartimiento de la batería. Esto ha causado numerosos fallos críticos e incluso explosiones de la propia batería (10).

---

<sup>20</sup> Extraído de: <http://motorbilon.com/exide-equipment-gel-es450-12v-40-ah.html>



#### 4.2.4.1.4. Batería AGM



Figura 25: batería AGM.21

Aggregate Glass Mat, que significa conglomerado de alfombrilla vitrosa y electrolito, la alfombrilla es un separador de placas hecho de una estructura fibrosa de silicio y boro de apariencia vitrosa. El electrolito se reduce a una masa gelatinosa que forma parte del conglomerado. En ellas el electrolito se encuentra absorbido en finas esteras de fibra de vidrio. Su tecnología parecida a las de gel, se ha mejorado logrando doblar la vida útil, mejorando también los porcentajes de descarga profunda y los procesos de descarga rápida.

Lo que más se resalta de las baterías AGM es que no contienen ácido líquido ni en forma de gel, y que su resistencia interna es cercana a cero, lo que conlleva a:

- Cero mantenimiento
- Mayor rapidez en la recarga y más eficiente
- Mayor tiempo en la retención de la carga (90% de carga residual después de 2 años).
- No sufren daño alguno si se descargan 100%, incluso, se pueden mantener descargadas por 30 días y al volverse a cargar siguen teniendo el 100% del rendimiento inicial.
- Comparadas con la de gel, las AGM resisten el doble de ciclos de carga-descarga.
- Mayor entrega de potencia (hasta 1700 amperios).

<sup>21</sup> Extraído de: <http://www.solaronline.es/tienda/es/baterias-agm/183-trojan-24-agm-12v-76ah-20hr-bateria-agm.html>

- Para igual capacidad, su tamaño es menor que cualquier otra tecnología.
- No hay peligro de derrames de electrolito ni de emisión de gases producidos durante la carga.
- Trabajan en cualquier posición.
- El rango de temperatura de trabajo está entre  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $72^{\circ}\text{C}$ . (10).

#### 4.2.4.1.5. Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)



Figura 26: baterías de níquel-cadmio.<sup>22</sup>

También conocidas como baterías alcalinas y son similares a las de plomo ácido. En ellas se utiliza hidróxido de níquel en lugar de plomo para las placas (que son de acero inoxidable) positivas y óxido de cadmio para las placas negativas. Se usa el hidróxido de potasio como el electrolito, el cual es una solución acuosa al 20%.

El óxido de cadmio surge durante la descarga de la batería, donde el oxígeno llega a la placa negativa procedente de la positiva. Este proceso se invierte en el momento de cargar la batería, es decir, que el oxígeno regresa a la placa positiva procedente de la placa negativa.

Este tipo de baterías tiene como ventaja que debido a que no poseen ácido, no son peligrosas. Esto sucede porque el electrolito cumple solo la misión de conductor de la electricidad.

<sup>22</sup> Extraído de: <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRkQSP7W2xsbUdLGHFRJvJF54fn0-QInC1y8tsY0PejCDqIsYIv>

En las placas se encuentran bolsas de acero perforado contenedoras de las materias activas presentes en forma de polvo. La separación de las placas negativas y positivas facilita la libre circulación del electrolito, evitando depósitos de burbujas de gas que surgen en los procesos de descarga. Esto evita que se cree el puente entre placas que ocasionan los conocidos corto circuito entre placas.

La tensión nominal de un elemento de una batería de Ni-Cd es de 1,2 V, a diferencia de la tensión de las baterías de plomo ácido que es de 2 V.

El efecto de la temperatura (muy alta o muy baja) no tiene el mismo efecto como le ocurre a las baterías de plomo ácido, esto hace que tiene mayor capacidad de aceptar el ciclo de carga sin afectarle la temperatura. Esta operación constante a temperaturas variables las hace atractivas en los climas tropicales. Al mes se puede comprobar un valor de Autodescarga de 4% en promedio.

Se pueden descargar al 100% sin sufrir daño alguno, y no le afectan las sobrecargas.

Son más costosas que las de plomo ácido, pero con las ventajas de mayor vida útil, muy bajo mantenimiento y menos peligrosas.

Pero tienen dos grandes desventajas:

- a. Estas baterías tienen “memoria”, es decir, que ellas en caso de dejarla descargada por un largo tiempo, ellas “recuerdan” este estado de descargado y proceden a reducir la capacidad efectiva debido a que se tiende a cristalizar el compuesto químico. Devolverle la capacidad inicial es un proceso muy complicado pero no imposible.
- b. No es fácil comprobar el estado de carga de una batería de Ni-Cd, como sí lo es en las baterías de plomo ácido.

En términos generales, las principales especificaciones que se tienen en cuenta en las baterías son: capacidad, tensión nominal y profundidad de descarga.

#### **4.2.4.2. Capacidad de la batería**

La capacidad es la cantidad de energía que puede entregar la batería en un tiempo determinado y de acuerdo a las condiciones de trabajo expresado en amperios-hora, esta capacidad depende de la velocidad de descarga. Las baterías tienen una tensión nominal de 2 V, 6 V, 12 V, 24 V y la tensión de carga es la tensión que se necesita para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

La selección de la capacidad del banco de baterías tiene en cuenta los requerimientos de energía de la carga a alimentar y la cantidad de capacidad de reserva del sistema.

La capacidad de la batería se determina por la cantidad de corriente que puede entregar en un determinado número de horas a tensión nominal a 25°C. Esta capacidad está dada en amperios-hora (A-h). Es decir que una batería totalmente cargada y de 200 A-h, puede entregar 2 amperios durante 100 horas o 20 amperios durante 10 horas. Comúnmente se encuentran definidas como C100, C20, y C5.

Un parámetro que afecta la capacidad es la temperatura de la batería y la del ambiente donde se encuentre trabajando. Temperaturas por debajo de 25°C, reducen la capacidad de la batería, mientras que las temperaturas superiores a 25°C mejoran la capacidad, pero afecta el nivel del agua del acumulador lo que disminuye sus ciclos de vida, que son las veces que es posible cargar la batería al 100% durante su vida útil. Este dato debe ser suministrado por el fabricante. Adicionalmente a la temperatura están el ciclado estacional y el ciclado diario, los cuales también afectan la vida útil de la batería. El estacional relaciona a periodos de poca incidencia del sol y el diario a la carga durante el día y la descarga por las noches.

Factores que afectan negativamente a las baterías:

- Tensiones elevadas de carga que aumentan la corrosión y pérdida de agua
- Descargas profundas
- Bajas tensiones de descarga
- Demasiado tiempo sin recarga al 100%
- Estratificación del electrolito
- Bajas corrientes de carga
- Elevadas temperaturas que envejecen al acumulador
- 

Para los sistemas solares fotovoltaicos, los parámetros más importantes de las baterías son:

- La capacidad de almacenamiento de la energía
- La corriente máxima que puede entregar a una carga fija y conexión permanente durante un tiempo específico en horas de descarga.
- La vida útil
- La profundidad de descarga máxima

Los fabricantes han estandarizado un índice de 20 horas para la prueba que determina la corriente máxima que puede entregar el acumulador en un periodo de 20 horas a una demanda constante. Por ejemplo, una batería de 105 A-h, 12 voltios, podrá entregar  $105 \text{ A-h} / 20\text{h} = 5.25 \text{ A}$  permanentemente durante 20 horas continuas, antes que su tensión en bornes sea menor que 10.5 voltios, que es el

punto en el cual se determina que una batería a 12 voltios se encuentra descargada.

Las baterías deben ubicarse en lugares ventilados y secos o libres de humedad y alejados del personal no calificado para su manipulación.

Como es necesario evitar sobredescargas en el acumulado, se especifica la máxima profundidad de descarga (PD<sub>max</sub>) a valores entre 0.3 a 0.6 de la capacidad nominal C<sub>b</sub>. Al alcanzar este límite, se debe desconectar la carga para evitar que la batería le siga suministrando y se sobre descargue. La capacidad disponible del acumulador C<sub>u</sub> es menor que la capacidad nominal C<sub>b</sub> (carga total que podría extraerse de la batería) y responde a:

$$C_u = C_b \times P_{dmax}$$

Las consideraciones generales a tener en cuenta respecto a las baterías son:

- Instalarlas en sitios ventilados y alejadas de posibles llamas
- En las baterías de plomo-acido se debe ajustar el nivel del electrolito hasta el recomendado por el fabricante, utilizando agua destilada, no del grifo.
- Cubrir con grasa los bornes después de haberla conectado
- No arrancar automóviles con baterías exclusivas para sistemas SFV
- En un banco de baterías se deben usar solo baterías del mismo tipo
- Tener en cuenta la polaridad de la batería para evitar posibles cortocircuitos
- Los terminales deben estar protegidos para evitar cortocircuitos accidentales por caídas de objetos conductores
- Se deben ubicar las baterías por encima del nivel del suelo

#### **4.2.4.3. Tensión nominal**

Las baterías de plomo-ácido se construyen con una tensión promedio nominal de 2 voltios por cada celda. La tensión real de la batería es dependiente de la situación eléctrica en que se encuentre, es decir, de su estado de carga: circuito abierto, en carga o descargándose. Por lo tanto, la tensión de la celda puede oscilar entre 1,75 a 2,5 voltios.

Dependiendo de la necesidad de tensión que se requiera, así mismo se conectarán las celdas. Es decir, si se necesita 6 voltios, se conectarán en serie 3 celdas, si son 12 voltios, se conectarán en serie 6 celdas.

La conexión en paralelo de las baterías aumenta la capacidad de corriente del sistema a un mismo nivel de tensión, con la salvedad de que solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

La conexión de las baterías en paralelo, se debe alambrear de tal manera que la terminal positiva se desconecte de la primera batería en el banco de baterías y la terminal negativa se desconecte de la última batería. Esto asegura un drenaje y una carga equilibrada del banco. Si por error se hace una inversión de conexión en la polaridad, la batería se descargará más rápidamente, lo que pasa igualmente con las demás baterías del banco, acortando la vida útil de las mismas.

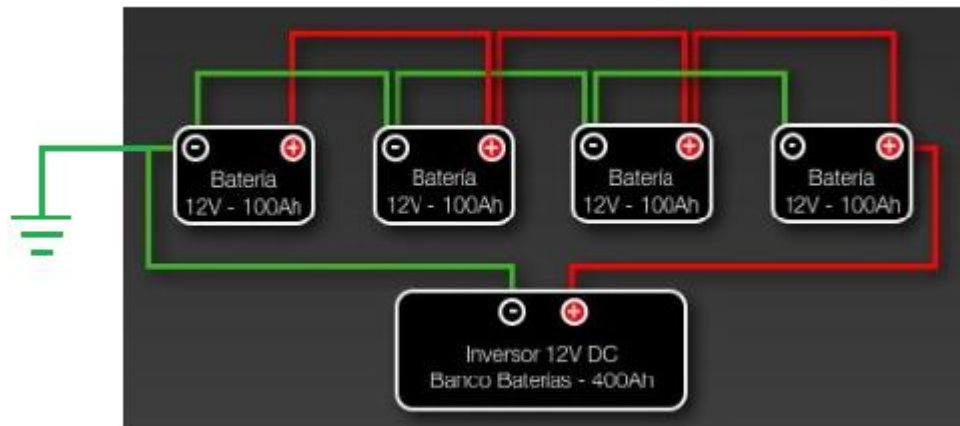


Figura 27: conexión en paralelo de baterías con puesta a tierra.<sup>23</sup>

#### 4.2.4.4. Profundidad de descarga

Es el porcentaje de lo que se ha descargado la batería en un proceso de descarga. Lo representa la división de lo que se le ha extraído a la batería sobre su capacidad nominal.

En los sistemas fotovoltaicos se utilizan baterías que aceptan descargas profundas hasta del 80% de su capacidad sin sufrir daño, pero entre mayor sea la descarga, menor será el número de ciclos de vida que pueda tener, teniendo presente que los ciclos de vida, es el número de veces que es posible cargar completamente a la batería durante su vida útil y un acumulador que queda totalmente descargado puede sufrir daño irreversible, perdiendo gran parte de su capacidad de carga. Este es un parámetro importante en el momento de la selección de la batería (2).

### 4.3. El regulador de carga

Ya se ha mencionado el inconveniente que se presenta en la batería cuando se ha excedido la sobre descarga y la sobrecarga, por lo tanto se hace necesario que

<sup>23</sup> Extraído de: <http://ayudaelectronica.com/conexion-banco-baterias-plomo-acido/>

exista un vigilante en los días de poca irradiación solar para evitar la sobre descarga y en los días de poca nubosidad o mayor radiación solar para evitar la sobrecarga. Aquí es donde aparece un elemento importante en los sistemas SFV, El Regulador de Carga.

Los reguladores de carga atienden el estado de carga del acumulador censando permanentemente la tensión en bornes. Este Regulador evita el exceso de corriente hacia una batería cargada en los días soleados evitando que hierva el electrolito, puesto que si esto ocurre, se evaporará acortando la vida útil de la batería. La ubicación de los controladores en el arreglo es entre el panel solar y las baterías y su funcionamiento depende de la tensión eléctrica que le suministra la batería.

Los controladores más avanzados toman decisiones de acuerdo a la información que permanentemente censan de las baterías, los parámetros de temperatura o tensión eléctrica, lo utiliza la unidad de control para modificar automáticamente las condiciones de carga.

Como las baterías es uno de los elementos de mayor costo del sistema SFV, es necesario protegerla con el controlador que su costo oscila en un 5% del costo total del sistema. Es recomendable usar controladores que su vida útil supere los 10 años.



Figura 28: regulador de carga.24

Tensión eléctrica de desconexión de carga, es la tensión a la cual el controlador toma la decisión de desconectar la alimentación a la carga porque la tensión eléctrica de las baterías está por debajo de un valor límite de ajuste. La alimentación a las cargas se reanudará cuando la tensión eléctrica en baterías se

<sup>24</sup> Extraído de: <http://www.solarmania.es/Regulador-carga-Steca-PR1515-12/24V-15A>

haya recuperado a un valor conocido como tensión eléctrica de reconexión de cargas. Estos niveles de tensión eléctrica, dependen del fabricante y de la edad de la batería.

Dentro de las funciones de protección electrónica que ofrece el controlador de la figura mostrada se encuentran:

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra circuito abierto sin batería
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería

Los tipos de reguladores conocidos son los lineales y los reguladores conmutados.

Los reguladores lineales se clasifican en reguladores paralelos y reguladores serie. En ellos se utiliza una resistencia variable que se comporta como regulador de la carga, en esta resistencia se disipa en forma de calor la energía sobrante procedente del panel, en especial cuando los sistemas SFV son de baja potencia, puesto que para sistemas mayores se necesitan disipaciones térmicas mayores lo que encarece la instalación.

Los reguladores tipo paralelo, se conectan en paralelo entre el panel y las baterías, los cuales, al detectar que la tensión en baterías ha alcanzado un valor preestablecido, actúan cerrando un circuito de baja resistencia para la corriente procedente del panel para evitar que esta corriente siga cargando el grupo de baterías. En ellos existe un diodo conectado en serie que tiene la misión de evitar corrientes inversas que puedan proceder de las baterías que puedan descargarse a través del regulador hacia el panel. Los reguladores en paralelo impiden que las variaciones de la corriente de carga aparezcan en la fuente primaria lo que proporciona una facultad de aislamiento.

La aparición de los microprocesadores y los avances de la electrónica han alejado el uso de los reguladores en paralelo que marcaron el camino de este elemento en los sistemas SFV.



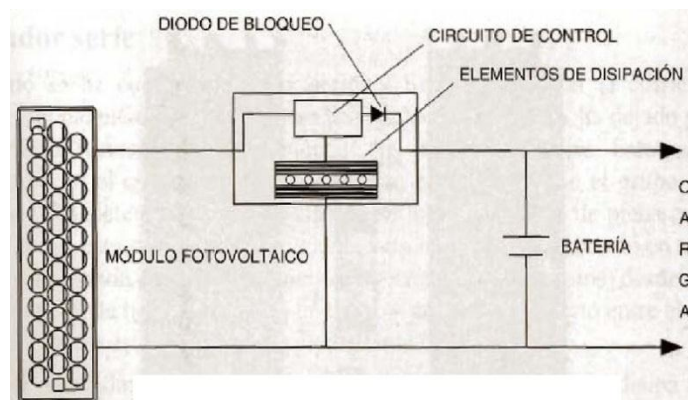


Figura 29: bloques de un regulador en paralelo.<sup>25</sup>

Los reguladores serie, utilizan la teoría de los circuitos serie, donde este elemento se convierte en un interruptor, desconectando las baterías que ya se encuentren cargadas de la alimentación proveniente del panel, pero durante la carga le ofrece al panel, un circuito de baja resistencia.

Los reguladores serie que utilizan como regulador un elemento semiconductor (transistor de potencia bipolar), tienen la capacidad de transportar la corriente que necesita la carga, tiene un elemento térmico que sede calor al medio circundante de manera controlada, sin provocar peligro a la estructura. El elemento semiconductor está comandado por un circuito de control que compara permanentemente la tensión eléctrica de batería con una tensión eléctrica de referencia y con este valor de comparación, el regulador tomará la decisión de abrir o cerrar el paso de la corriente hacia la batería.

Los reguladores serie que emplean un relé electromecánico como elemento regulador, no hay disipación de energía en forma de calor, puesto que en posición abierto, no hay flujo de corriente y cuando está cerrado, no hay caída de tensión. Pero sí existe un consumo propio por el funcionamiento normal de los circuitos de control y la del diodo de bloqueo. La calidad del regulador serie depende de la calidad del relé que utiliza, lo que determina el tiempo de vida útil del equipo regulador.

Los sistemas de regulación de fases diferenciadas, le entregan a la batería la carga que ellas necesitan, lo que permite evitar el “todo” o “nada” de los reguladores serie de relé electromecánico, puesto que los microcontroladores varían la tensión eléctrica de carga asegurando un mayor y mejor nivel de carga de las baterías, lo que se traduce en el mejor aprovechamiento de los recursos de almacenamiento de las baterías y una mayor disposición de la energía útil (11).

<sup>25</sup> Extraído de: <http://es.scribd.com/doc/32602371/REGULADORES-DE-CARGA>

Los reguladores tienen tres fases de trabajo: Igualación, Carga Profunda y Flotación.

La fase de carga inicial es la Igualación, repitiéndose cada mes en promedio. Esta fase permite que se realice automáticamente la acción de cargar por “igual” a las baterías después de un largo periodo de tiempo en que ha habido un bajo estado de carga.

En la fase de Carga Profunda, después de haberse igualado las cargas de los acumuladores, el regulador cierra el circuito de carga de las baterías permitiendo el paso de corriente hasta alcanzar el punto de tensión eléctrica final de carga donde el regulador toma la decisión de abrir nuevamente el circuito interrumpiendo la entrada de corriente a las baterías. Este punto es donde las baterías han alcanzado el nivel de tensión eléctrica final de carga, cercano al 90% de su capacidad y la carga se completará en la próxima fase.

La Carga Final que debe llevar a la batería al 100% de su capacidad, se logra por medio de la acción del regulador denominada “Banda de Flotación Dinámica” o BFD, esta banda es un rango de tensión eléctrica que oscila entre la tensión nominal de la batería y su tensión eléctrica final de carga +10% aproximadamente. Al llegar al 100% de carga de la batería, habiendo censado su tensión a plena carga, el regulador inyectará una pequeña corriente denominada de Flotación que mantendrá a la batería a plena carga teniendo en cuenta que existe la Autodescarga de las mismas.

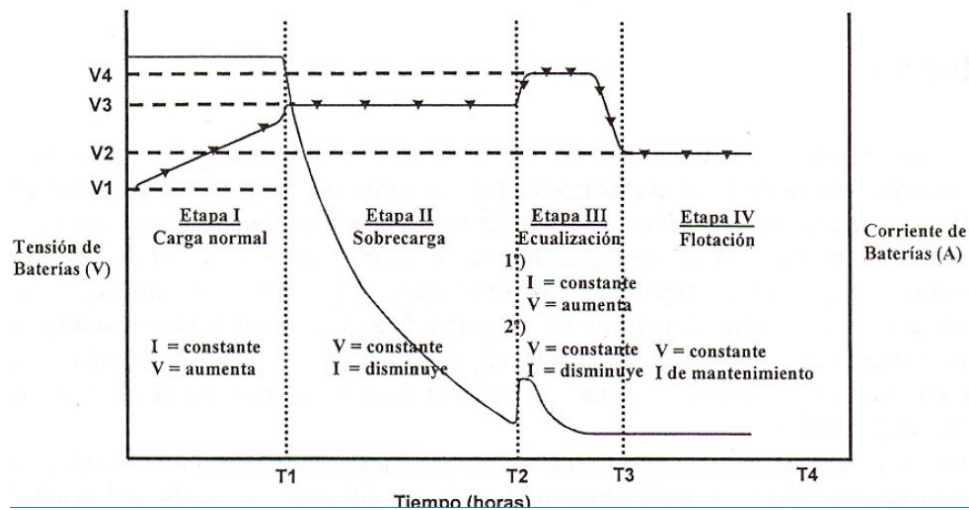


Figura 30: fases del regulador de carga.<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Extraído de:

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fisatom/docencia/Masterfisica/Fotovoltaica/Teoria/05%20Fotovoltaica%20tema%205.pdf>

Existen dos tipos de estrategias para controlar la carga de baterías. Los reguladores PWM o con modulación de ancho de banda y los “on” “off”. En los PWM, se reduce por pasos la alimentación de corriente a baterías cuando se ha alcanzado la “tensión eléctrica de fin de carga” con lo que se logra mantener constante a la tensión y precisamente igual a este valor y en los reguladores “on” “off”, se abre el circuito de alimentación de corriente a baterías cuando se ha alcanzado la “tensión eléctrica de fin de carga”

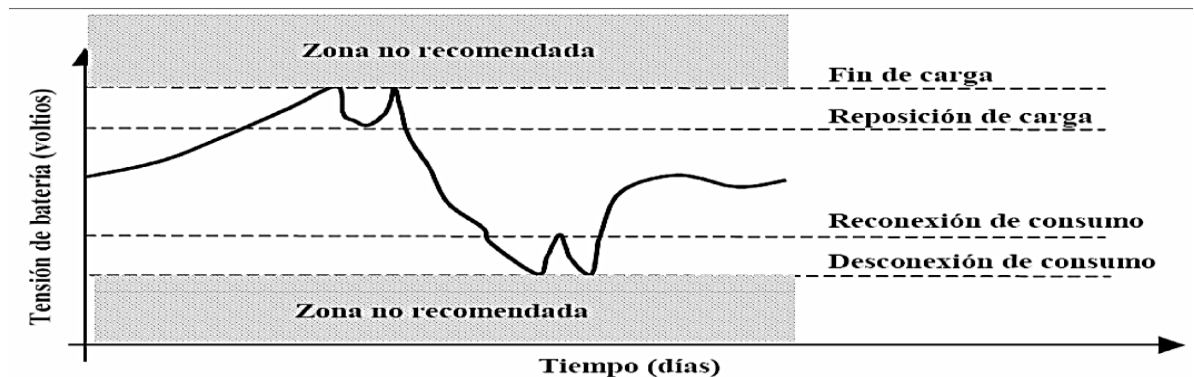


Figura 31: Variación de la tensión eléctrica en baterías con regulador de carga.<sup>27</sup>

Como se ha mencionado, los reguladores se alimentan de la tensión de baterías, ellos para realizar su trabajo consumen energía del sistema a través de conductores eléctricos, con esto tanto los conductores como el regulador se convierten en una carga más del sistema y estas cargas reducen la tensión disponible para las cargas a alimentar. Por lo anterior, se hace necesario reducir hasta un máximo del 4% las caídas de tensión en conductores como en el regulador para un sistema a 12 voltios en condiciones de nula radiación solar y con las cargas conectadas.

La capacidad del regulador debe dimensionarse para conducir un flujo de corriente de carga a baterías igual al 125% la corriente de cortocircuito del panel SFV así como el 125% de la corriente procedente de las baterías hacia las cargas en funcionamiento a tensión nominal.

De acuerdo a la norma IEC 529, el índice de protección debe ser IP 54 para instalaciones del regulador en exteriores e IP 32 para interiores.

Adicionalmente, el regulador se debe proteger contra polaridad inversa por el lado del panel como por la línea de la batería, se debe instalar un supresor de sobretensión de 1000 vatios o superior, conectado del lado de la línea que llega

<sup>27</sup> Extraído de: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0831t.pdf>

del panel así como de la línea hacia la carga, finalmente, el regulador no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación. En el diseño se debe considerar un 3% de consumo diario propio del regulador en condiciones normales de operación (12).

Los reguladores conmutados desconectan la batería del generador fotovoltaico por medio de un interruptor electromecánico tipo relé o con un transistor conectado en serie con el panel ya que estos dispositivos pueden controlar la tensión eléctrica a su salida para que sea el más adecuado al estado de carga de la batería (2).

#### **4.4. El Inversor**

Los paneles solares fotovoltaicos producen una tensión eléctrica de corriente directa que se acumula en las baterías. Este tipo de corriente se adecua a corriente alterna (necesaria para alimentar a la mayoría de los electrodomésticos), por el elemento conocido como el Inversor. El inversor cumple la función de transformar la corriente continua acumulada en baterías, en corriente alterna para su aplicación en la instalación que necesita este tipo de corriente. Este proceso se realiza debido a que gran parte de los equipos eléctricos utilizan la corriente alterna para su funcionamiento, debido a que son menos costosos que los que usan la corriente continua. El inversor, además de transformar la CD en CA debe elevar la tensión acumulada en baterías (12, 24, 48 voltios en CC) a la que usan los electrodomésticos (120 o 220 voltios en CA) a través de un transformador.

La electrónica del inversor le incorpora transistores bipolares o tiristores que se comportan como elementos de switcheo dentro del circuito. Los cuales tiene la misión de alterar la corriente continua creando una forma de onda cuadrada a la salida del circuito electrónico, la cual pasa hacia el transformador para finalmente ser elevada a el valor de diseño, es así como se tienen los inversores de onda cuadrada. Esta forma de onda puede llegar a ser perjudicial para el funcionamiento de algunos equipos electrónicos debido a la alta distorsión armónica en la onda de tensión, por lo que ese hace necesario filtrar la onda cuadrada para obtener una onda senoidal modificada muy parecida la de la red eléctrica.

Otros inversores crean una señal en escalera en la cual se hace más fácil la filtración de la onda para llegar a la senoidal por medio de filtros menos complicados que el usado en la filtración de la onda cuadrada.

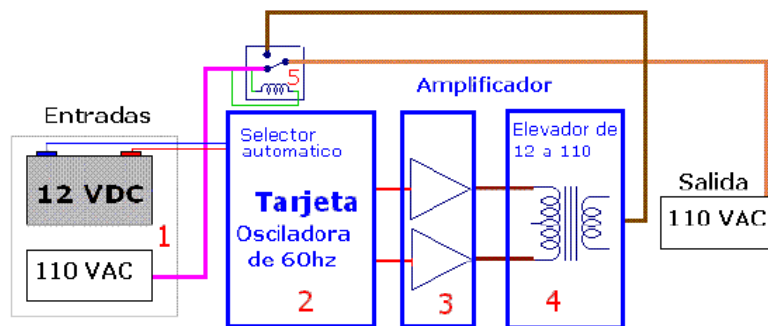


Figura 32: Diagrama de bloques de Convertidor 12 V cc a 110 V ac.<sup>28</sup>

Comercialmente se encuentran inversores de 50 vatios a 1000 VA de onda senoidal modificada de muy baja distorsión armónica, de diferentes fabricantes, buena calidad y rendimiento más elevado, siendo muy convenientes para la mayoría de las cargas de corriente alterna.

La eficiencia de los inversores oscila entre 80 y 95%, dependiendo de las condiciones de trabajo debido a las pérdidas internas de energía del mismo inversor. A regímenes de carga cercanos a la potencia nominal del inversor. La eficiencia es mayor que para regímenes de carga lejanos a la potencia nominal.

#### 4.4.1. Tipos de Inversores

Existen dos tipos de inversores

- Inversor de conmutación natural
- Inversor de conmutación forzada

Los inversores de conmutación natural también son conocidos como “inversores conmutados por la red” puesto que la red es la que finalmente determina el estado de conducción en los dispositivos electrónicos mediante la conmutación se controla el flujo de energía en el sentido que se desee. Su aplicación es para sistemas SFV conectados a la red. Con los avances de la electrónica de potencia en el desarrollo de los transistores de tipo IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) se han creado los inversores de conmutación forzada tipo PWM, los cuales tienen la propiedad de evitar la pérdida de conmutación para mayores niveles de corriente y tensión eléctrica.

<sup>28</sup> Extraído de: [http://www.unicrom.com/cir\\_convertidor12DCa120AC\\_UPS.asp](http://www.unicrom.com/cir_convertidor12DCa120AC_UPS.asp)

Los inversores de conmutación forzada también llamados “autoconmutados” son usados en sistemas fotovoltaicos aislados de la red. El forzado de la conmutación de este tipo de inversor se refiere a que la apertura y cierre son forzados por el sistema de control.

Los inversores de conmutación forzada pueden ser de salida escalonada (onda cuadrada) o de modulación por ancho de pulsos (PWM), con estos últimos se pueden conseguir señales de onda prácticamente senoidal y con poco contenido de armónicos (2).

Los tiristores usados en los inversores de onda escalonada producen grandes pérdidas que reducen la eficiencia por debajo del 80% y más si trabajan con una cargabilidad alejada de su potencia nominal, igualmente producen cantidades de armónicos debido a su forma de onda.

Los inversores PWM sintetizan la onda con una cantidad mayor de pulsos por medio ciclo. El ancho de la onda se modifica para que ésta se acerque a la onda senoidal, esto reduce en gran medida el contenido de armónicos. En los inversores PWM se logran rendimientos superiores al 90%, incluso, con baja cargabilidad.

#### **4.4.2. Parámetros principales**

Los parámetros característicos que definen al inversor son:

- Tensión eléctrica entrada – salida
- Potencia nominal de salida
- Eficiencia de transformación (generalmente 85%)
- Capacidad de sobrecarga y protección térmica
- Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia
- Forma de onda a la salida

Debido a que la entrada de tensión al inversor no tiene un valor fijo, éste debe ser capaz de transformar diferentes valores de tensión eléctrica. Sin embargo, la tensión de salida del inversor no debe superar el 5% de la tensión nominal de salida en inversores de onda senoidal y el 10% en inversores de onda cuadrada.

La potencia nominal de salida que corresponde a la medición en funcionamiento continuo del circuito de salida del inversor, se encuentra comercialmente entre 100 y 5000 vatios. El inversor debe ser capaz de manejar una potencia de sobrecarga o pico en el arranque de algunas cargas como motores durante un tiempo determinado de acuerdo a:

160% de la potencia nominal durante 1 minuto.

140% de la potencia nominal durante 3 minutos.  
120% de la potencia nominal durante 10 minutos (2).

La eficiencia es la relación de la potencia de entrega a la carga respecto a la potencia que recibe o de entrada al inversor procedente de las baterías, no debe ser inferior al 85%, la cual depende del régimen de carga al que se encuentre cargado. Cargabilidades inferiores a la potencia nominal producen bajos rendimientos especialmente en inversores de onda cuadrada.

La capacidad de sobrecarga es la capacidad del inversor para entregar a la carga una potencia superior a su potencia nominal en un tiempo determinado, como ocurre en el arranque de motores donde el incremento de corriente supera 3 o 4 veces su corriente nominal.

Otro parámetro importante es la forma de onda a la salida del inversor en la conversión de CC a CA la cual debe ser la más cercana posible a la onda senoidal para garantizar el buen funcionamiento de las cargas que utilizan la CA para su buen desempeño.

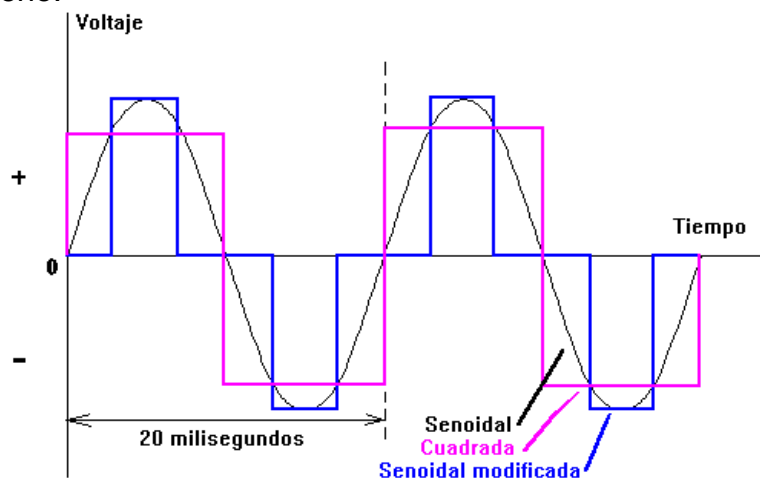


Figura 33: Señales de tensión de onda senoidal, cuadrada y modificada.<sup>29</sup>

Los inversores de onda cuadrada son los más económicos pero los de menor rendimiento, generan armónicos dañinos para las cargas conectadas a él, los armónicos generan ruido o interferencias que afecta a cargas tales como teléfonos y radios, se usan especialmente cuando se alimentará a cargas resistivas y de iluminación. Es apto para alimentar cargas independientes tales como computador, televisión, pequeños equipos eléctricos cuya potencia dependerá de la carga a alimentar.

<sup>29</sup> Extraído de: <http://www.terko.com.uy/productos/index.php?TypeId=3&CategoryId=17&ProdId=104>



Figura 34: Inversor de onda cuadrada 150 vatios.

Los inversores de onda senoidal modificada que tienen la forma de onda trapezoidal, están contruidos con base en la modulación de ancho de pulso (PWM) la cual modifica el trapecio para acercar la onda de salida a la onda senoidal pero al final la onda no deja de ser cuadrada sin embargo el contenido de armónicos es menor en la modificada. Pueden generar ruido en la señal causando interferencias y manejan bien las sobrecargas y a pesar de que su precio es más elevado son los más usados debido a que tienen una eficiencia cercana al 95%, es decir, que las pérdidas internas son menores, esto los hace más atractivos en su uso para alimentar todo tipo de cargas.



Figura 35: Inversor de onda modificada de 300 vatios.<sup>30</sup>

Los avances de la electrónica de potencia han logrado obtener a una onda senoidal pura llegando a eficiencias de más del 90% dependiendo de su potencia. La inteligencia de los microprocesadores le incorpora un valor agregado de telecontrol, cálculo de energía consumida por la carga hasta la selección de baterías. Su comportamiento es el más estable dentro de los inversores existentes

---

<sup>30</sup> Extraído de: [http://articulo.mercadolibre.cl/MLC-405683529-inversor-de-onda-modificada-300-watt-mswi-300w-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.cl/MLC-405683529-inversor-de-onda-modificada-300-watt-mswi-300w-_JM)



y el contenido de armónicos en la onda de salida es casi nulo evitando los ruidos o interferencias. El costo de este tipo de inversor es el más elevado en el mercado y son muy usados para alimentar grandes motores de inducción y aparatos o cargas muy sofisticadas que necesitan de una alimentación libre de interferencias o bajo contenido de armónicos, es decir, una onda senoidal pura.

En términos generales, la elección del inversor depende del tipo de carga a atender, a menos que la carga lo requiera, es preferible utilizar inversores menos costosos y más eficientes.

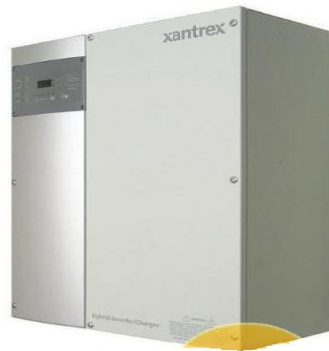


Figura 36: Inversor de onda pura 4500 vatios.<sup>31</sup>

Otros aspectos importantes a tener en cuenta son:

- Montaje mecánico
- Rango de temperatura de trabajo
- Calibre máximo de conductores
- Protecciones automáticas

Existen tres categorías de inversores:

**INVERSORES SINCRONOS:** La transformación de CD a CA es usada para alimentar a la red de la compañía suministradora de energía a través de este tipo de inversores.

**INVERSORES DE MULTIFUNCION:** Pueden ser usados para sistemas aislados o para sistemas conectados a la red como inversores síncronos al mismo tiempo.

**INVERSORES PARA SISTEMAS AISLADOS:** Convierten la corriente continua proveniente de la baterías, en corriente alterna para alimentar a la carga. Existen inversores desde 100 vatios para sistemas aislados de muy buena calidad, para

---

<sup>31</sup> Extraído de: <http://www.solostocks.com/venta-productos/fuentes-alimentacion/inversores-convertidores-electricos/inversor-cargador-onda-pura-xantrex-xw-4548-48-4500-6972779>

alimentar computadores portátiles, máquinas de fax, etcétera, hasta 8000 vatios para suministrar energía a una casa completa.

#### **4.4.3. Consideraciones de Diseño**

Los datos de placa de los inversores, muestran los valores de potencia que el inversor puede entregar continuamente y la máxima potencia que el inversor puede entregar en un tiempo determinado.

La potencia continua del inversor es la obtenida en condiciones de temperatura ambiente específica, tensión eléctrica mínima requerida en la entrada de corriente continua y si la carga a alimentar es resistiva o cercana resistiva, puesto que cargas inductivas disminuyen el factor de potencia y por ende, disminuye la potencia real que el inversor puede entregar.

La eficiencia del inversor está en función de su cargabilidad. Para regímenes de carga cercana a la potencia nominal la eficiencia es alta, pero para cargas inferiores o superiores a la potencia nominal, la eficiencia disminuye.

El dimensionamiento del inversor se realiza teniendo en cuenta la potencia máxima de la carga a alimenta, pero este valor depende de la planeación de la energía que el usuario le haga al sistema, para reducir lo más posible los picos de energía. Es necesario realizar un cálculo lo más acertado posible de la distribución del consumo de la energía ya que el costo del proyecto está muy relacionada con la potencia pico de la carga.

A continuación se muestra en la tabla los inversores con sus distintas formas de onda y su compatibilidad con el tipo de carga a alimentar.

Tabla 4: Compatibilidad entre el Inversor y los Tipos de cargas.

N° DE SERIE	CARGA	TIPO DE INVERSOR		
		ONDA CUADRADA	ONDA SENOIDAL MODIFICADA	ONDA SENOIDAL REAL
1	Refrigerador, alumbrado, licuadora, aspiradora, computador	Aplicable	Aplicable	Aplicable
2	Bomba, Lavadora, Ventilador	Posibilidad de sobrecalentamiento	Posibilidad de sobrecalentamiento o Usar Flitros	Aplicable
3	Televisor, Sistemas musicales, Radios, Monitores	Posible Interferencia	Posible Interferencia en ocasiones	Aplicable
4	Horno microonda, cargador de batería	Hornos trabajan a menor potencia, las baterías podrían no estar totalmente cargadas	Hornos trabajan a menor potencia, las baterías podrían no estar totalmente cargadas	Aplicable

#### 4.5. Cableado

En los sistemas SFV son muy frecuentes las caídas de la tensión eléctrica lo que trae como consecuencia los aumentos de la corriente de salida del inversor. Por tal razón, es importante dimensionar adecuadamente los conductores del sistema, puesto que ellos son generadores de caídas de tensión indeseables. Los calibres de los conductores deberán permitir una caída de tensión máxima de 5% entre el generador y el regulador, menor del 1% entre el regulador y la batería y máxima de 5% entre el regulador y la carga todo a condición de plena carga.

De acuerdo a la sección 690-31, numeral b), de la NTC 2950, los conductores a utilizar en los sistemas SFV deben ser Tipo UF, resistentes a la intemperie, a los rayos solares o se deben usar cables tipo USE. El numeral c) de la misma sección, recomienda que cuando utilicen cables y cordones flexibles para conectar las partes móviles de los módulos de orientación fotovoltaicos, dichos cables deben ser de un tipo especificado como de uso pesado o como cables portátiles de fuerza; deben ser adecuados para uso extrapesado, estar certificados para su uso exterior y ser resistente al agua y a la luz del sol y cuando la temperatura

ambiente supere los 30°C, a la capacidad de corriente se debe aplicar los factores de corrección de la tabla 690-31 c) de la misma NTC 2050.

Tabla 5: Factores de corrección por temperatura para cables de sistemas fotovoltaicos.

temperatura ambiente en °C	temperatura nominal de los conductores			
	60°C	75°C	90°C	105°C
30	1	1	1	1
31-35	0,91	0,94	0,96	0,97
36-40	0,82	0,88	0,91	0,93
41-45	0,71	0,82	0,87	0,89
46-50	0,58	0,75	0,82	0,86
51-55	0,41	0,67	0,76	0,82
56-60	--	0,58	0,71	0,77
61-70	--	0,33	0,58	0,68
71-80	--	--	0,41	0,58

Los fusibles para la protección de cables se eligen de forma que la máxima corriente de operación esté entre el 50 y 80% de la capacidad nominal del mismo. Los fusibles se instalarán preferiblemente en las líneas de polaridad positiva (13).

#### 4.6. Elementos de protección

Como nuestro sistema SFV operará a tensión de 12 o 24 voltios, el elemento que representa mayor peligro es la batería, debida a la elevada corriente de cortocircuito, además, de su contenido de ácidos y su correspondiente liberación de gases inflamables.

Por lo tanto, se hace necesario proteger a la batería como a al dispositivo que la vigila el cual es el regulador de carga. Protegerlas contra sobrecorrientes como contra corrientes de cortocircuito. La protección puede ser fusibles, diodos, disyuntores, interruptores termomagnéticos y deben ubicarse en la línea del generador FV y en la línea hacia las cargas.

## 5. MARCO CONTEXTUAL

### 5.1. Descripción

Las aulas móviles del SENA, son automóviles tipo furgón, tipo bus o cuando son marítimas tipo bote; acondicionados, como salón de clases, con equipos y elementos, necesarios para dictar cursos, seminarios entre otros, a las poblaciones en donde el SENA no cuenta con una plata física, de manera tal que la educación llegue a todas las poblaciones, especialmente a las a aquellas más alejadas de los centro urbanos.

La iniciativa de las aulas móviles nació del SENA en el 2003, realizando alianzas con alcaldías locales, logrando así que en 2007, regionales del SENA como Atlántico, Risaralda, entre otras ya contaran con aulas móviles.

“La idea es que cada aula móvil esté tres meses máximo en cada regional, pero la regional la debe mover cada semana o cada dos semanas de municipio para tratar de dar más cobertura”, explicó la líder de esta iniciativa del SENA, Adriana Vásquez.

En estos ambientes de aprendizaje se imparten programas que duran entre 40, 60 y 80 horas en especialidades que van desde fruver, informática, confecciones, gastronomía, panadería, cárnicos, mecatrónica, calzado, joyería y motos, hasta telemedicina, biotecnología, salud, elaboración de alimento para animales, plantas extractoras de aceites esenciales, herrería, transporte asistencial y electrónica, entre otras.

El SENA, a través de las aulas móviles, pasó de ofrecer 44 mil 977 cupos para el año 2003 a 125 mil 570 cupos en el 2009 en más de 230 municipios del país. El objetivo al culminar el 2010 es ofrecer 130 mil cupos de formación complementaria a través de estos ambientes de aprendizaje.

Las aulas móviles objeto de esta tesis son un aula tipo bus de modulo expandible, para impartir formación de tipo financiero, contable y afines, y la otra es tipo furgón, destinada a impartir formación relacionada con cursos de construcción.

Cada una de estas aulas cuenta con cargas eléctricas específicas, como herramientas y dispositivos, propios relacionadas con el tipo de educación que es suministrada, ejemplo el aula tipo bus modulo expandible, al ser destinada para cursos tipo financiero, cuenta con equipos de cómputo, video beam, que son útiles para este tipo de educación. Mientras que la el aula tipo furgón, posee herramientas como taladros, caladoras, propias de esta actividad.

## **5.2. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA**

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), creado en 1957 como resultado de la iniciativa conjunta de los trabajadores organizados, los empresarios, la Iglesia Católica y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), es un establecimiento público del orden nacional, con personería jurídica, patrimonio propio e independiente y autonomía administrativa, adscrito al Ministerio del Trabajo.

El SENA cumple la función que le corresponde al Estado de invertir en el desarrollo social y técnico de los trabajadores colombianos, ofreciendo y ejecutando la formación profesional integral para la incorporación de las personas en actividades productivas que contribuyan al crecimiento social, económico y tecnológico del país.

Además de la formación profesional integral, impartida a través de nuestros centros de formación, brindamos servicios de formación continua del recurso humano vinculado a las empresas; información; orientación y capacitación para el empleo; apoyo al desarrollo empresarial; servicios tecnológicos para el sector productivo; y apoyo a proyectos de innovación, desarrollo tecnológico y competitividad.

En ese orden de ideas, la Entidad brinda formación profesional integral a los trabajadores de todas las actividades económicas, y a quienes sin serlo, requieren dicha formación, para así aumentar la productividad nacional y promover la expansión y el desarrollo económico y social armónico del país, todo bajo el concepto de equidad social redistributiva.

El SENA fortalece los procesos de formación profesional integral que contribuyen al desarrollo comunitario a nivel urbano y rural para su vinculación o promoción en actividades productivas de interés social y económico.

Además, apropia métodos, medios y estrategias dirigidos a la maximización de la cobertura y la calidad de la formación profesional integral; participa en actividades de investigación y desarrollo tecnológico, ocupacional y social, para contribuir a la actualización y mejoramiento de la formación profesional; y propiciar las relaciones internacionales tendientes a la conformación y operación de un sistema regional de formación profesional integral.

## **5.3. Historia**

El SENA nació durante el Gobierno de la Junta Militar, posterior a la renuncia del General Gustavo Rojas Pinilla, mediante el Decreto-Ley 118, del 21 de junio de

1957. Su función, definida en el Decreto 164 del 6 de agosto de 1957, era brindar formación profesional a trabajadores, jóvenes y adultos de la industria, el comercio, la agricultura, la minería y la ganadería. Su creador fue Rodolfo Martínez Tono.

Así mismo, su fin era proporcionar instrucción técnica al empleado, formación acelerada para los adultos y ayudarles a los empleadores y trabajadores a establecer un sistema nacional de aprendizaje. La entidad tripartita, en la cual participarían trabajadores, empleadores y Gobierno, se llamó Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). En ese momento, la industria pretendía conquistar nuevos mercados y necesitaba más trabajadores y mejor calificados, métodos modernos y cambios drásticos en la productividad.

#### **5.4. Misión**

El SENA está encargado de cumplir la función que le corresponde al Estado de invertir en el desarrollo social y técnico de los trabajadores colombianos, ofreciendo y ejecutando la formación profesional integral, para la incorporación y el desarrollo de las personas en actividades productivas que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico del país.

#### **5.5. Mega 2020: SENA de clase mundial**

En el 2020, el SENA será una Entidad de clase mundial en formación profesional integral y en el uso y apropiación de tecnología e innovación al servicio de personas y empresas; habrá contribuido decisivamente a incrementar la competitividad de Colombia a través de:

- Aportes relevantes a la productividad de las empresas.
- Contribución a la efectiva generación de empleo y la superación de la pobreza.
- Aporte de fuerza laboral innovadora a las empresas y las regiones.
- Integralidad de sus egresados y su vocación de servicio.
- Calidad y estándares internacionales de su formación profesional integral.
- Incorporación de las últimas tecnologías en las empresas y en la formación profesional integral.
- Estrecha relación con el sector educativo (media y superior).
- Excelencia en la gestión de sus recursos (humanos, físicos, tecnológicos y financieros)

## **6. MARCO METODOLOGICO**

La investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico procura obtener información relevante y fidedigna (digna de fe y crédito) para entender, verificar o aplicar el conocimiento.

La investigación tiene como base el método científico y este es el método de estudio sistemático de la naturaleza que incluye las técnicas de observación, reglas para el razonamiento y la predicción, ideas sobre la experimentación planificada y los modos de comunicar los resultados experimentales y teóricos.

### **6.1. Tipos de investigación**

Teniendo en cuenta la clasificación dada por la autora Lily Soto Vásquez, este proyecto clasifica en los siguientes tipos de investigación:

#### **6.1.1. Investigación básica:**

Se caracteriza porque parte de un marco teórico y permanece en él, la finalidad radica en aumentar los conocimientos científicos, para este proyecto hubo necesidad de enriquecer los conocimientos acerca de los componentes del sistema solar fotovoltaico, así como todas las variables que afectan a estos sistemas.

#### **6.1.2. Investigación aplicada:**

Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. Para la realización del diseño del presente proyecto, se hizo necesario aplicar los conocimientos adquiridos en las investigaciones previas.

#### **6.1.3. Investigación documental:**

Es la que se realiza apoyándose en fuentes de carácter documental, o sea en documentos de cualquier especie. Se recurrió a fuentes bibliográficas como libros, tesis de otros autores y páginas web, entre otros.

#### **6.1.4. Investigación de campo:**

Este tipo de investigación se apoya en informaciones que provienen de entre otras de entrevistas, encuestas y observaciones. Para el presente proyecto, se realizaron mediciones en campo como, las de medición del nivel de ruido



provocado por el uso del generador eléctrico de combustión interna, así como las mediciones físicas de las dimensiones de las aulas. Igualmente se entrevistó a los instructores que trabajan en estas aulas para consultar las dificultades respecto a la alimentación eléctrica.

## **6.2. Población y muestra.**

El SENA cuenta con una población total de 287 aulas móviles, distribuidas en toda Colombia, que tiene como objetivo impartir formación a los colombianos que se encuentren en lugares donde el SENA no cuenta con una planta física.

De esta población se tomó como muestra dos aulas móviles con diferentes tipos de formación técnica. Una para formación financiera y otra para formación en el área de la construcción.

## **6.3. Instrumentos**

Para el presente trabajo de grado se utilizaron básicamente tres tipos de instrumentos:

### **6.3.1. Instrumentos informáticos.**

Se utilizaron varias herramientas informáticas tales como:

Microsoft office Excel para realizar los respectivos cálculos para dimensionamientos de los componentes que integran el sistema solar fotovoltaico.

Microsoft Office Word para la transcripción de la monografía del presente trabajo.  
AutoCad 2010 para la realización de los planos eléctricos correspondientes.

### **6.3.2. Instrumentos de consulta.**

Se utilizaron textos de consulta los cuales se encuentran referenciados en la bibliografía. Adicionalmente, monografías y archivos de medios magnéticos de diferentes autores.

### **6.3.3. Instrumentos de medición.**

Para la recolección de datos indispensables se utilizaron los siguientes instrumentos:

Sonómetro referencia CEM DT-805: para la comprobación del nivel de ruido emitido por la planta de generación eléctrica.

Detector portátil de gases tóxicos, referencia EzFlex EZ40, para comprobación de emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de la planta de generación eléctrica.

Pinza voltiamperimétrica Fluke 325, mediciones de tensión eléctrica y corriente

Flexómetro para la medición de las dimensiones externas del aula, así como las internas y ventanas.

### **6.3.4. Procedimiento**

Para la realización del sistema solar fotovoltaico para las aulas móviles del SENA, fue necesario conocer las características y el funcionamiento de todos los componentes que integran el sistema, para este fin, se realizó una detallada investigación en textos de consulta asociados a este tema, así como paginas en la web de fabricantes de los diferentes componentes, además, consultas a personas conocedoras de este tema, todo esto con el objetivo de comprender inicialmente como es el proceso de generación de energía eléctrica a partir de la energía proveniente del sol y la operación que tiene cada componente dentro del sistema, tales como paneles solares fotovoltaicos, reguladores, acumuladores e inversores.

La investigación exigió conocer el nivel de radiación solar en la zona donde trabajará las aulas móviles, dato que se consultó en el mapa de brillo solar de Colombia (15) suministrado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), dicho documento se encuentra el nivel de radiación solar mes a mes de todo el territorio colombiano.

Teniendo en cuenta que en la justificación se tiene en cuenta la problemática generada por el molesto ruido producido por la planta eléctrica, se procedió a validar esta información, mediante la medición directa en sitio del nivel de ruido (5).

Posteriormente, se realizó el censo de carga de cada una de las aulas en estudio, para estimar la carga instalada en cada aula, con detalle de número de equipos del mismo tipo instalados con sus respectivas demandas de potencia y el número de horas diarias de uso, en esta parte se detectó un sobredimensionamiento en el

sistema de refrigeración (16), esto con el propósito de dimensionar la carga total que requiere ser alimentada por el sistema solar fotovoltaico

A continuación se dimensionaron todos los componentes del sistema partiendo de la cantidad de paneles necesarios con su respectiva configuración de conexiones pasando por los acumuladores, el regulador hasta la capacidad del inversor teniendo en cuenta en cada uno de ellos sus respectivas eficiencias, corrección por temperaturas y pérdidas.

## 6. METODOLOGIA DE CALCULO

A continuación se describe el método utilizado para el cálculo y dimensionamiento de cada uno de los componentes del sistema SFV, para esto se utilizó la herramienta computacional de Microsoft Excel.

### 6.1. Aula móvil 1

Para un buen dimensionamiento del sistema SFV, se debe tener en cuenta que la situación crítica se presenta en el mes de menor radiación solar y es aquí donde el generador fotovoltaico, debe, como mínimo, tener una generación igual a la demanda de la carga.

Esto lleva a tener presente que el dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos, como del banco de baterías de un sistema autónomo y de los demás componentes, es inminentemente necesario conocer cuáles son las cargas a conectar al sistema (computadores, video beam, etcétera), conocer la potencia nominal (P) (vatios) demanda por cada una, el número de cargas del mismo tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t).

Cada carga demandará un consumo diario (Cd) medido en Wh/día, de acuerdo a:

$$Cd = P * n * t$$

Ecuación 1.

Donde P: Potencia unitaria de cada carga conectada

n: Número de cargas del mismo tipo

t: Tiempo diario de uso de una carga específica

El consumo diario total entonces será:

$$Cd = \sum_{i=1}^N Pi * ni * ti$$

Ecuación 2.

Donde i es cada una de las cargas a alimentar y N son todas las cargas conectadas

En los sistemas FV aislados de la red, se calculan por separado las cargas en CC de las CA, pero para el presente proyecto, solo se conectarán cargas en CA, por

lo que toda la energía producida por el sistema será convertida en corriente alterna por medio del inversor.

La ecuación (1) representa el consumo energético diario teórico ( $E_t$ ) medido en Wh de todas las cargas. Partiendo del resultado de este cálculo se debe determinar el Consumo Energético Real ( $E$ ) medido en Wh, el cual tiene en cuenta las pérdidas de cada uno de los componentes del sistema FV, a partir de la ecuación:

$$E = \frac{E_t}{R}$$

Ecuación 3.

Donde  $R$  es el rendimiento total de la instalación FV el cual se calcula con:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - K_a * \frac{N}{P_b}\right)$$

Ecuación 4.

Donde:

**$K_b$ :** Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no producen descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

**$K_c$ :** Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas

0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas

**$K_v$ :** Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto joule, etc.)

El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es:

$0,05 < K_v < 0,15$

**$K_a$ :** Coeficiente de Autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:

0,002 para baterías de baja Autodescarga (Ni-Cd)

0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)

0,012 para baterías de alta Autodescarga (SLI)

**$N$ :** Número de días de autonomía de la instalación. Días nublados. Radiación mínima.

3 – 10 días como valores de referencia

**$P_d$ :** Profundidad de descarga diaria de la batería.

No deberá exceder el 70% de la capacidad nominal del acumulador.

En este orden de ideas se presenta a continuación el censo de carga del aula móvil 1:

Tabla 6: cargas aula 1.

Equipo	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (W)	POTENCIA TOTAL(W)	TIEMPO USO (h-Dia)	TOTAL ENERGIA(W-h/Dia)	TOTAL ENERGIA(W-h/Dia)Xmargen de seguridad 20%
mini split	1	3150	3150	4	12600	15120
Computador	7	64	448	4	1792	2150,4
luminarias	11	64	704	4	2816	3379,2
Video Beam	1	500	500	4	2000	2400
Abanico	4	40	160	4	640	768
		3818	4962		19848	23817,6

### 6.1.1. Estimación del consumo:

Una vez conocida la carga se procede con el cálculo del consumo real, teniendo en cuenta además de lo consumido por cada carga, las perdidas, del mismo sistema fotovoltaico.

$$Er = (Ecc + \left(\frac{Etac}{\eta_{inv}}\right)) / (\eta_{bat} * \eta_{cond})$$

Ecuación 5.

Tabla 7: Estimación de consumo.

Variables	valor
Ecc: Energía de cargas de corriente continua. Para este caso es cero	0
Etac: Energía de cargas de corriente alterna.	23817.6
$\eta_{inv}$ : rendimiento del inversor 90%	0,9
$\eta_{bat}$ : rendimiento en baterías 95%	0,95
$\eta_{cond}$ : rendimiento en conductores 100%	1
Er: Energía real	27856,8
Energía real en A-h/día	1160.7

El consumo real es superior al teórico debido a que se tiene en cuenta las pérdidas en los componentes y el factor de seguridad.

De acuerdo a la ubicación geográfica donde trabajará las aulas móviles, las cuales se desplazarán dentro de los límites del departamento del Atlántico, se debe determinar la Radiación Solar Diaria (H), medida en KWh/m<sup>2</sup>/día, para cada mes del año, basado en el mapa de radiación solar de la zona, de la cual se determina el número de Horas Pico Solares, *HPS*, lo que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiación constante  $I = 1 \frac{kW}{m^2}$  a la cual se mide la potencia de los paneles.

Este es un método que estandariza la curva diaria de irradiación solar, tal como se muestra en la Figura 36. El área bajo la curva representa las horas pico solares horaria de irradiación real.

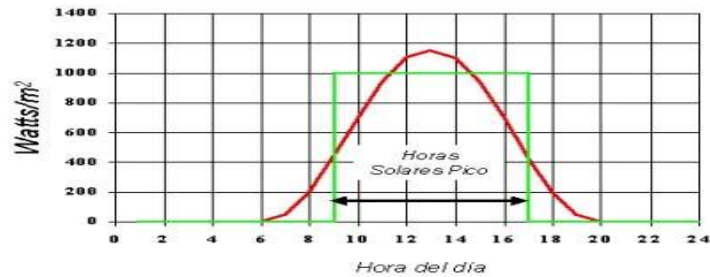


Figura 37: Curva de irradiación solar-Horas Pico Solares.<sup>32</sup>

De acuerdo al mapa de radiación solar de Colombia, la región norte de los departamentos del Atlántico, Magdalena y Bolívar, se tiene una Radiación que promedia anualmente entre 5,5 - 6,0 kWh/m<sup>2</sup> (17) con una inclinación de paneles de acuerdo a la latitud de la región caribe que es de 12°60' (18).

Por otro lado, se encuentra el mapa de Brillo solar (15) el cual muestra que en la región del atlántico por donde estará trabajando el aula móvil, se tiene un promedio de 6 a 7 horas de brillo, por lo que habrá influencia de las horas pico solares así como las horas de radiación difusa que también aportará al sistema.

$$H \left[ \frac{KwH}{m^2} \right] = I \left[ \frac{kW}{m^2} \right] * HPS[h]$$

Ecuación 6.

La cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas pico solar si el panel opera a su potencia máxima nominal (*Wp*). Esta potencia es el parámetro principal que

<sup>32</sup> Extraído de: <http://www.oocities.org/imosolar/cont-7.htm>

determina el funcionamiento del panel y la especificación más importante en el dimensionamiento del generador FV.

### 6.1.2. Dimensionamiento de los paneles

El número de paneles necesario ( $N_p$ ) se calcula teniendo en cuenta el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido:

$$N_p = \frac{E}{0,9 * W_p * HPS}$$

Ecuación 7.

Donde:  $W_p$  es la potencia nominal del panel escogido  
HPS son las Horas Pico Solares

En el dimensionamiento de los paneles se deben tener en cuenta las pérdidas producidas por las sombras en los paneles, por la temperatura de operación superior a 25°C, por los elementos desparejos, por las pérdidas en conductores y por las altas diferencias entre la tensión eléctrica de operación del sistema y el punto de máxima potencia. Por lo tanto se deben considerar las siguientes condiciones para disminuir las pérdidas de energía en el sistema:

- El sitio de instalación de los paneles FV, debe garantizar estar libre de sombras, por lo menos durante 8 horas diarias, en especial, en las horas del medio día durante todo el año.
- La tensión eléctrica del punto de máxima potencia del generador FV, debe estar en el rango de 14,5 a 15 voltios, a temperatura ambiente igual a la máxima anual del sitio de instalación y a una irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>, para que las baterías se de manera adecuada.

Conociendo todas las variables a tener en cuenta se procede a estimar el número de paneles necesarios para mantener cargado eléctricamente al banco de baterías.



Tabla 8: estimación número de paneles

<b>Variables</b>	<b>Valor</b>
E: es la Energía real demandada por la carga a alimentar	27856.8
Wp: Potencia nominal del panel escogido	327 W
HPS: Horas Pico Solares de acuerdo a la referencia (15)de la UPME	6 horas/ días
Factor de funcionamiento que varía entre 0,65 y 0,9. Se usa 0,9 por defecto	0,9
Np: número de paneles del mismo tipo	16 paneles

Se observa que como resultado se obtiene 16 paneles de mismo tipo. Se hace indispensable conocer el arreglo de estos paneles, es decir cuánto de ellos estará en serie y cuanto de ellos en paralelo.

El panel seleccionado para esta aplicación es un panel marca Sun Power, referencia: SPR-327NE-WHTR-D, con las siguientes características:

Tabla 9: datos de fabricante del panel.

Nombre de fabricante	Sun power
Referencia	SPR-327NE-WHTR-D
Tensión eléctrica	48V
Potencia	327KW

Se selecciona esta referencia dentro de las grandes posibilidades de paneles que existen en el mercado, debido a que con ellos se abastece la demanda de la carga y por sus dimensiones se adapta a la limitante de espacio que se tiene en el área destinada para su instalación que es la parte superior del aula 1.

Determinación del tipo de conexión de los módulos calculados en serie y en paralelo, teniendo en cuenta que el SPR-327NE-WHTR-D máxima  $V_{mp}$  de 54,7 voltios.

### 6.1.3. Número de Paneles en serie:

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{modMPP}}$$

Ecuación 8.

Tabla 10: número de paneles en serie.

<b>Variables</b>	<b>valor</b>
Vbat: es la tensión seleccionada de batería	48
VmodMPP: tensión máxima del módulo seleccionado	54,7
Nserie: es el número de módulos conectados en serie	1

Para el presente diseño se escogió un nivel de tensión a 48V (tabla 12), y el panel seleccionado ofrece esta tensión, no es necesario paneles conectados en serie puesto que no hay necesidad de aumentar la tensión.

### 6.1.4. Paneles en paralelo

$$N_{paralelo} = \frac{N_t}{N_{serie}}$$

Ecuación 9.

Tabla 11: número de paneles en paralelo

<b>Variables</b>	<b>valor</b>
Nt: es el número total de paneles previamente calculados	16
Nserie: es el número de paneles conectados en serie	1
Nparalelo: es el número de paneles que se conectarán en paralelo	16

El arreglo de paneles del generador fotovoltaico que garantizará el nivel de cargabilidad óptimo en baterías es de 16 paneles conectados en paralelo y cero conectado en serie, cumpliéndose con esto el segundo objetivo específico.

### 6.1.5. Dimensionamiento de los acumuladores (baterías)

Este es uno de los cálculos que requiere de mayor atención, debido a que si se subdimensiona, no se puede sostener la demanda de energía de la carga por el tiempo planeado y si se sobredimensiona, es posible que no se llegue a mantener cargado al banco al 100%. Las baterías usadas para las energías renovables son conocidas como Baterías de ciclo profundo.

Se puede utilizar para la selección del nivel de tensión del sistema SFV se puede usar la siguiente tabla: (14)

Tabla 12: baterías según potencia de la carga

Potencia demanda por la carga (W)	Tensión de trabajo (V)
Menor de 1.500	12
1.500 – 5.000	24 o 48
Mayor de 5.000	120 o 300

Para el dimensionamiento del banco de baterías, es necesario determinar inicialmente:

- La cantidad de energía eléctrica diaria requerida por la carga

Para esto se requiere hacer un cálculo minucioso de cuáles cargas se usarán diariamente, el número de cargas iguales y por cuánto tiempo se usarán.

- El número de días de autonomía

Este es el segundo paso dentro del proceso, determinar el número de días de respaldo de baterías que se desea tener, es decir, el número de días en que las baterías suministrará energía al sistema en caso de que no haya radiación solar, para este propósito se hace necesario aumentar la capacidad del banco de baterías.

Para el caso del aula móvil, se ha previsto 2 días de autonomía y manteniendo el sistema de generación actual como respaldo conveniente para casos de emergencia

- El límite de profundidad de descarga

Este factor se especifica en términos de sus ciclos de carga se expresa como un porcentaje de la capacidad total de la batería. Un ciclo sencillo toma una batería desde su condición de plena carga, a través de la descarga (uso) y luego regreso a plena carga vía la recarga. Es recomendable que nunca se descargue por debajo del 50% a una batería de ciclo profundo, debido a que se afecta su vida útil.

- La temperatura ambiente de operación del banco

25°C es la temperatura estándar para la mayoría de las baterías. Las bajas temperaturas reducen la capacidad de la batería, mientras que las altas temperaturas reducen la vida útil de la misma. Para estas situaciones se debe hacer el ajuste por temperatura

Para calcular la capacidad del banco de baterías, se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$C = \frac{E * N}{(V * Pd)}$$

Ecuación 10.

Donde C: Capacidad del banco de baterías en KAh

E: Consumo energético real a partir de la ecuación (3)

N: El número de días de autonomía

V: Tensión eléctrica nominal de la batería (48 Voltios para el aula móvil)

Pd: Profundidad de descarga permitida

La ecuación (7) permite calcular la capacidad del banco de baterías, ahora es necesario calcular el número de baterías (Nb) del mismo tipo de acuerdo a la capacidad de batería que se ha elegido usar en el arreglo (Cbat) medida en kWh, a partir de la siguiente ecuación (8)

$$Nb = \frac{C}{Cbat}$$

Ecuación 11.

Con esta ecuación se confirma que el número de baterías que arrojó el cálculo, deberá superar la demanda de energía de la carga conectada en el peor mes de radiación solar, para esto se calcula su capacidad útil (C) con el producto de la capacidad nominal por la profundidad de descarga, por ejemplo, una batería de

100 Ah con profundidad de descarga del 80% tendrá una Capacidad Útil de 100 Ah x 0,8, es decir 80 Ah. Este resultado indica que la batería debe suplir de energía a la carga con una autonomía de 2 días sin sol para el caso de del presente proyecto. El dimensionado del banco de baterías deberá cumplir las siguientes condiciones:

- La profundidad de descarga,  $P_{dmax}$ , (referida a la capacidad nominal de la batería en 20 horas) no deberá exceder los valores dados por el fabricante de la batería seleccionada
- La capacidad útil,  $C_u$ , (la capacidad nominal en 20 horas, multiplicada por la máxima profundidad de descarga) deberá permitir de 2 días de autonomía.
- La capacidad útil de la batería deberá tener en cuenta las condiciones meteorológicas del sitio de trabajo.

En este orden de ideas se procede a calcular inicialmente la capacidad de la batería, teniendo en cuenta las variables enunciadas anteriormente.

Para esto se utilizará las siguientes ecuaciones:

$$C_n(Wh) = \frac{E}{P_{dmax} * F_{ct}}$$

Ecuación 12.

$F_{ct}$  es factor de corrección por temperatura diferente a 20°C

$$F_{ct} = 100\% + 0,6\% * (T - 20^{\circ}C)$$

Ecuación 13.

Tabla 13: estimación de la batería en función de la descarga máxima

<b>Variables</b>	<b>valor</b>
E: es la Energía real demandada por la carga a alimentar	27856,8 W
$P_{dmaxE}$ : es la Profundidad de descarga máxima estacional 70%	0,7
$P_{dmaxDia}$ : es la Profundidad de descarga máxima diaria 15%	0,15
N: es el número de días de autonomía	2
Temperatura promedio °C	35
$F_{ct}$ : Factor de corrección por temperatura	1,09
Capacidad nominal de batería en función de la descarga máxima diaria (W-h)	170378,2(W-h)
Capacidad nominal de batería en función de la descarga máxima diaria (a-h)	3549,54(a-h)

La capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional (Cne) es:

$$Cne(Wh) = \frac{E * N}{Pdmax * Fct}$$

Ecuación 14.

Tabla 14: capacidad de baterías teniendo en cuenta los días de autonomía

Variable	Valor
Cne (Wh): capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional	73019,24
Cne (A-h) capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional	1521,23

Número de baterías:

$$NB = \frac{C_{ne}}{C_{bat}}$$

Ecuación 15.

Tabla 15: número de baterías

variable	Valor
Cne (A-h) capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional	1521,23 (A-h)
C <sub>bat</sub> Capacidad nominal de batería	1500 (A-h)
NB: número de baterías	1,079559245

Para poder cumplir con la demanda y garantizar los días de autonomía, además de una descarga estacional no mayor al 70% ; según los cálculos realizados se necesitara una batería de una de una capacidad de 1500 A-H.

Pero para cumplir con el nivel de tensión del sistema se hace necesario conectar 8 baterías en serie de la misma capacidad.

### 6.1.6. Calculo del regulador:

Para este cálculo se debe conocer la corriente de entrada, proveniente de los paneles solares, y la corriente de salida, hacia a la carga.

La corriente de entrada tiene en cuenta la corriente de cortocircuito de cada uno de los paneles seleccionados, en este caso del panel SPR-327NE-WHTR-D tiene una  $I_{sc}=6,46$  A, esta corriente se multiplica por el número de paneles conectados en paralelo N, siguiendo la siguiente formula.

$$I_{ent} = F_s * I_{scmod} * N$$

Ecuación 16.

El factor de seguridad (Fs) del 125% previene daños que puedan ocurrir en el regulador.

Tabla 16: corriente de entrada.

Variable	Valor
Corriente de corto del panel seleccionado $I_{sc}(A)$	6,46
Número de paneles conectados en paralelo N	16
Factor de seguridad $F_s$ del 125%	1,25
Corriente de entrada del regulador $I_{ent}$ (A)	127,38

Se usa la corriente de cortocircuito del panel debido a que es la máxima corriente que podrá generar el panel solar FV, se observa que la corriente de entrada es de 135,6 A.

A continuación se calcula la corriente de salida, basado en la siguiente expresión:

$$I_{sal} = (F_s * \left(\frac{P_{ac}}{\eta_{reg}}\right)) / V_{bat}$$

Ecuación 17.

Tabla 17: corriente de salida

Variable	Valor
Fs es el factor de seguridad del 125%	1,25
Pac potencia de la carga a alimentar	5282
$\eta_{reg}$ es la eficiencia del regulador 95%	0,95
Vbat es la tensión de operación de las baterías en voltios	48
Isal corriente de salida del regulador (amperios)	136,01

En conclusión se deberá utilizar un regulador que soporte una corriente de entrada de 127A y una corriente de salida de 136 A.

#### 6.1.7. Cálculo del inversor:

Para este cálculo solo es necesaria la potencia de las cargas a alimentar a la cual se aplica un margen de seguridad del 20% para evitar daños en el mismo.

Basándose en la siguiente expresión:

$$P_{inv} = F_s * P_{ac}$$

Ecuación 18.

Tabla 18: potencia del inversor

Variable	Valor
Pac Potencia a alimentar (W)	5282
Fs factor de seguridad 20%	1,2
Pinv potencia del inversor (W)	5954,4

Ahora se le agrega un factor de sobredimensionamiento para efectos de arranques de algunos equipos, para este caso se elige un factor de 3. El inversor será de: 12160,8 W

#### 6.1.8. Cálculo de calibre de conductores

Basados en la metodología de diseño establecida por la norma técnica colombiana NTC2050, se calcularon los calibres de los conductores de cada circuito existente en el diseño del sistema solar fotovoltaico objeto de este trabajo, así como el de



cada ramal de las cargas, cumpliendo con las exigencias de regulación y corrección por temperatura. Para el cálculo de los calibres se hizo uso de la herramienta informática de Microsoft office Excel que a continuación se presenta.

Tabla 19. Cálculo de conductores aula móvil 1

CIRCUITOS AULA 1	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (V)	CONSUMO (W)	DISTANCIA (Km)	CALIBRE	DELTA TENSIÓN	REGULACION
panel a panel	136,25	48	0	0,02	1/0	1,6568	3%
panel a baterías	136,25	48	0	0,005	1/0	0,4142	1%
batería a inversor	144,75	48	0	0,002	1/0	0,176016	0%
Inversor a tablero de distribución gral	62,5	120	0	0,012	6	1,0875	1%
circuito ramal aire acondicionado	16,84491979	220	3150	0,012	12	1,146128342	1%
circuito ramal computadores y video beam	7,465	127	948	0,006	12	0,253944567	0%
circuito ramal luminarias y abanicos	8,004	127	864	0,012	12	0,544572117	0%
	504,0594867		4962				

## 6.2. Dimensionamientos aula móvil 2:

A continuación se describirá el método utilizado para el cálculo y dimensionamiento de cada uno de los componentes del sistema SFV, para esto se utilizó la herramienta computacional de Microsoft Excel.

Para un buen dimensionamiento del sistema SFV, se debe tener en cuenta que la situación crítica se presenta en el mes de menor radiación solar y es aquí donde el generador fotovoltaico, debe, como mínimo, tener una generación igual a la demanda de la carga.

Esto lleva a tener presente que el dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos, como del banco de baterías de un sistema autónomo y de los demás componentes, es inminentemente necesario conocer cuáles son las cargas a conectar al sistema (computadores, video beam, etcétera), conocer la potencia nominal (P) (vatios) demanda por cada una, el número de cargas del mismo tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t).

Cada carga demandará un consumo diario (Cd) medido en Wh/día, de acuerdo a:

$$Cd = P * n * t$$

Ecuación 19.

Donde P: Potencia unitaria de cada carga conectada  
n: Número de cargas del mismo tipo  
t: Tiempo diario de uso de una carga específica

El consumo diario total entonces será:

$$Cd = \sum_{i=1}^N Pi * ni * ti$$

Ecuación 20.

Donde  $i$  es cada una de las cargas a alimentar y  $N$  son todas las cargas conectadas

En los sistemas FV aislados de la red, se calculan por separado las cargas en CC de las CA, pero para el presente proyecto, solo se conectarán cargas en CA, por lo que toda la energía producida por el sistema será convertida en corriente alterna por medio del inversor.

La ecuación (1) representa el consumo energético diario teórico ( $E_t$ ) medido en Wh de todas las cargas. Partiendo del resultado de este cálculo se debe determinar el Consumo Energético Real ( $E$ ) medido en Wh, el cual tiene en cuenta las pérdidas de cada uno de los componentes del sistema FV, a partir de la ecuación:

$$E = \frac{E_t}{R}$$

Ecuación 21.

Donde  $R$  es el rendimiento total de la instalación FV el cual se calcula con:

$$R = (1 - Kb - Kc - Kv) * \left(1 - Ka * \frac{N}{Pb}\right)$$

Ecuación 22.

Donde:

**$K_b$** : Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no producen descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

**$K_c$** : Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas

0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas

**$K_v$** : Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto joule, etc.)

El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es:

$0,05 < K_v < 0,15$

*Ka*: Coeficiente de Autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:  
 0,002 para baterías de baja Autodescarga (Ni-Cd)  
 0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)  
 0,012 para baterías de alta Autodescarga (SLI)

*N*: Número de días de autonomía de la instalación. Días nublados. Radiación mínima.  
 3 – 10 días como valores de referencia

*Pd*: Profundidad de descarga diaria de la batería.  
 No deberá exceder el 70% de la capacidad nominal del acumulador.

En este orden de ideas se presenta a continuación el censo de carga del aula móvil 2:

**CARGAS:**

Tabla 20: cargas aula 2

Equipo	CANTIDAD	POTENCIA(W)	TIEMPO USO (h-Dia)	TOTAL(W-h/Dia)
TALADRO	1	400	1	400
COMPUTADOR	1	64	4	256
VIDEO BEAM	1	500	4	2000
ABANICO	2	45	2	180
CONSUMO DIARIO TOTAL O ENERGÍA TEORICA DIARIA				2836

**6.2.1. Estimación del consumo:**

Una vez conocida la carga se procede con el cálculo del consumo real, teniendo en cuenta además de lo consumido por cada carga, las pérdidas, del mismo sistema fotovoltaico.

$$Er = (Ecc + \left(\frac{E_{tac}}{\eta_{inv}}\right)) / (\eta_{bat} * \eta_{cond})$$

Ecuación 23.

Tabla 21: estimación de consumo aula móvil 2

Ecc: Energía de cargas de corriente continua. Para este caso es cero	0
Etac: Energía de cargas de corriente alterna.	3295
$\eta_{inv}$ : rendimiento del inversor 90%	0,9
$\eta_{bat}$ : rendimiento en baterías 95%	0,95
$\eta_{cond}$ : rendimiento en conductores 100%	1
Er: Energía real	3854
Energía real en A-h/día	160.5

### 6.2.2. Número de paneles:

El número de paneles necesario ( $N_p$ ) se calcula teniendo en cuenta el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido:

$$N_p = \frac{E}{0,9 * W_p * HPS}$$

Ecuación 24.

Donde:  $W_p$  es la potencia nominal del panel escogido  
 $HPS$  son las Horas Pico Solares

En el dimensionamiento de los paneles se deben tener en cuenta las pérdidas producidas por las sombras en los paneles, por la temperatura de operación superior a 25°C, por los elementos desparejos, por las pérdidas en conductores y por las altas diferencias entre la tensión eléctrica de operación del sistema y el punto de máxima potencia. Por lo tanto se deben considerar las siguientes condiciones para disminuir las pérdidas de energía en el sistema:

- El sitio de instalación de los paneles FV, debe garantizar estar libre de sombras, por lo menos durante 8 horas diarias, en especial, en las horas del medio día durante todo el año.
- La tensión eléctrica del punto de máxima potencia del generador FV, debe estar en el rango de 14,5 a 15 voltios, a temperatura ambiente igual a la máxima anual del sitio de instalación y a una irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>, para que las baterías se de manera adecuada.

Conociendo todas las variables a tener en cuenta, se procede a estimar el número de paneles:

Tabla 22: Número de paneles aula móvil 2

E es la Energía real demandada por la carga a alimentar	3854
Wp Potencia nominal del panel escogido	327
Horas Pico Solares HPS de acuerdo a la referencia [14] de la UPME	6
Factor de funcionamiento que varía entre 0,65 y 0,9. Se usa 0,9 por defecto	0,9
Np número de paneles del mismo tipo	2

Se observa que como resultado se obtiene 2 paneles de mismo tipo. Se hace indispensable conocer el arreglo de estos paneles, es decir cuánto de ellos estará en serie y cuanto de ellos en paralelo.

El panel seleccionado para esta aplicación es un panel marca Sun Power, referencia: SPR-327NE-WHTR-D, con las siguientes características:

Tabla 23: datos de fabricante del panel.

Nombre de fabricante	Sun power
Referencia	SPR-327NE-WHTR-D
Tensión eléctrica	48V
Potencia	327KW

Se selecciona esta referencia dentro de las grandes posibilidades de paneles que existen en el mercado, debido a que con ellos se abastece la demanda de la carga y por sus dimensiones se adapta a la limitante de espacio que se tiene en el área destinada para su instalación que es la parte superior del aula 1.

Determinación del tipo de conexión de los módulos calculados en serie y en paralelo, teniendo en cuenta que el SPR-327NE-WHTR-D máxima Vmp de 54,7 voltios.

### 6.2.3. Paneles en serie:

Tabla 24: paneles en serie móvil 2.

Vbat es la tensión seleccionada de batería	48
VmodMPP tensión máxima del módulo seleccionado	54,7
Nserie es el número de módulos conectados en serie	1

Para el presente diseño se escogió un nivel de tensión a 48V (tabla 12), y el panel seleccionado ofrece esta tensión, no es necesario paneles conectados en serie puesto que no hay necesidad de aumentar la tensión.

### 6.2.4. Paneles en paralelo:

$$N_{paralelo} = \frac{N_t}{N_{serie}}$$

Ecuación 25.

Tabla 25: número de paneles en paralelo aula móvil 2.

Nt es el número total de paneles previamente calculados	2
Nserie es el número de paneles conectados en serie	1
Nparalelo es el número de paneles que se conectaran en paralelo	2

El arreglo de paneles del generador fotovoltaico que garantizará el nivel de cargabilidad óptimo en baterías es de 2 paneles conectados en paralelo y cero conectado en serie, cumpliéndose con esto el segundo objetivo específico.

### 6.2.5. Calculo de las baterías

Este es uno de los cálculos que requiere de mayor atención, debido a que si se subdimensiona, no se puede sostener la demanda de energía de la carga por el tiempo planeado y si se sobredimensiona, es posible que no se llegue a mantener cargado al banco al 100%. Las baterías usadas para las energías renovables son conocidas como Baterías de ciclo profundo.

Se puede utilizar para la selección del nivel de tensión del sistema SFV se puede usar la siguiente tabla (14):

Tabla 26: capacidad de las baterías aula móvil 2.

E es la Energía real demandada por la carga a alimentar	3854
PdmaxE es la Profundidad de descarga máxima estacional 70%	0,7
PdmaxDia es la Profundidad de descarga máxima diaria 15%	0,15
N es el número de días de autonomía	2
Temperatura promedio °C	35
Factor de corrección por temperatura Fct	1,09
Capacidad nominal de batería en función de la descarga máxima diaria (Wh)	23572.08005
Capacidad nominal de batería en función de la descarga máxima diaria (a-h)	982.17

La capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional (Cne) es:

Tabla 27: capacidad de batería en función de la descarga máxima estacional

Cne (Wh)	10102.32
Cne (A-h)	420.93

Para poder cumplir con la demanda y garantizar los días de autonomía, además de una descarga estacional no mayor al 70%; según los cálculos realizados se necesita una batería de una de una capacidad de 420 A-H.

Pero para cumplir con el nivel de tensión del sistema se hace necesario conectar 8 baterías en serie de la misma capacidad.

#### 6.2.6. Calculo del regulador:

Para este cálculo se debe conocer la corriente de entrada, proveniente de los paneles solares, y la corriente de salida, hacia a la carga.

La corriente de entrada tiene en cuenta la corriente de cortocircuito de cada uno de los paneles seleccionados, en este caso del panel SPR-327NE-WHTR-D tiene una  $I_{sc}=6,46$  A, esta corriente se multiplica por el número de paneles conectados en paralelo N, siguiendo la siguiente formula.

$$I_{ent} = F_s * I_{scmod} * N$$

Ecuación 26.

El factor de seguridad (Fs) del 125% previene daños que puedan ocurrir en el regulador.

Tabla 28: Corriente de entrada regulador.

Corriente de corto del panel seleccionado $I_{sc}(A)$	6,46
Número de paneles conectados en paralelo N	3
Factor de seguridad $F_s$ del 125%	1,25
Corriente de entrada del regulador $I_{ent} (A)$	23.11567148

Se usa la corriente de cortocircuito del panel debido a que es la máxima corriente que podrá generar el panel solar FV, se observa que la corriente de entrada es de 23,11A.

A continuación se calcula la corriente de salida, basado en la siguiente expresión:

$$I_{sal} = (F_s * \left(\frac{P_{ac}}{\eta_{reg}}\right)) / V_{bat}$$

Ecuación 27.

Tabla 23: Corriente de salida regulador.

$F_s$ es el factor de seguridad del 125%	1,25
$P_{ac}$ potencia de la carga a alimentar	1009
$\eta_{reg}$ es la eficiencia del regulador 95%	0,95
$V_{bat}$ es la tensión de operación de las baterías en voltios	48
$I_{sal}$ corriente de salida del regulador (amperios)	31

En conclusión, el regulador deberá manejar una corriente de entrada de 23 amperios y una corriente de salida de 31 amperios.



### 6.2.7. Cálculo del inversor

Para este cálculo solo es necesaria la potencia de las cargas a alimentar a la cual se aplica un margen de seguridad del 20% para evitar daños en el mismo.

Basándose en la siguiente expresión:

$$P_{inv} = F_s * P_{ac}$$

Ecuación 28.

Tabla 24: capacidad del inversor.

Pac Potencia a alimentar (W)	1009
Fs factor de seguridad 20%	1,2
Pinv potencia del inversor (W)	1210.8
Fsob	3
Pinv potencia del inversor (W)	2278.8

### 6.2.8. Calibre de conductores.

Ahora se le agrega un factor de sobredimensionamiento para efectos de arranques de algunos equipos, para este caso se elige un factor de 3. El inversor será de: 12160,8 W.

### Cálculo de calibre de conductores

Basados en la metodología de diseño establecida por la norma técnica colombiana NTC2050, se calcularon los calibres de los conductores de cada circuito existente en el diseño del sistema solar fotovoltaico objeto de este trabajo, así como el de cada ramal de las cargas, cumpliendo con las exigencias de regulación y corrección por temperatura. Para el cálculo de los calibres se hizo uso de la herramienta informática de Microsoft office Excel que a continuación se presenta

Tabla 25: calibre de conductores aula 2.

CIRCUITOS AULA 2	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (V)	CONSUMO (W)	DISTANCIA (Km)	CALIBRE	DELTA TENSIÓN	REGULACION
panel a panel	32,3	48	0	0,01	10	1,10789	2%
panel a baterías	32,3	48	0	0,005	10	0,553945	1%
bateria a inversor	12,37	48	0	0,002	12	0,1402758	0%
Inversor a tablero de distribución gral	62,5	120	0	0,012	6	1,0875	1%
circuito ramal taladro-abanicos	4,362745098	120	445	0,012	12	0,296841176	0%
circuito ramal computadores y video beam	4,441	127	564	0,006	12	0,151080945	0%
	148,27369		1009				

## 7. DESCRIPCION DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

### 7.1. Aula móvil 1

A continuación se describe el sistema solar fotovoltaico que se ha diseñado para su posible instalación en aulas móviles del Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA.

El sistema fotovoltaico diseñado en el presente proyecto de grado es de configuración aislada de la red eléctrica. Como se mencionó con anterioridad, lo constituyen los siguientes componentes: el generador fotovoltaico que son los paneles solares propiamente dicho, la estructura de soporte de los paneles, el regulador, el banco de baterías y el inversor.

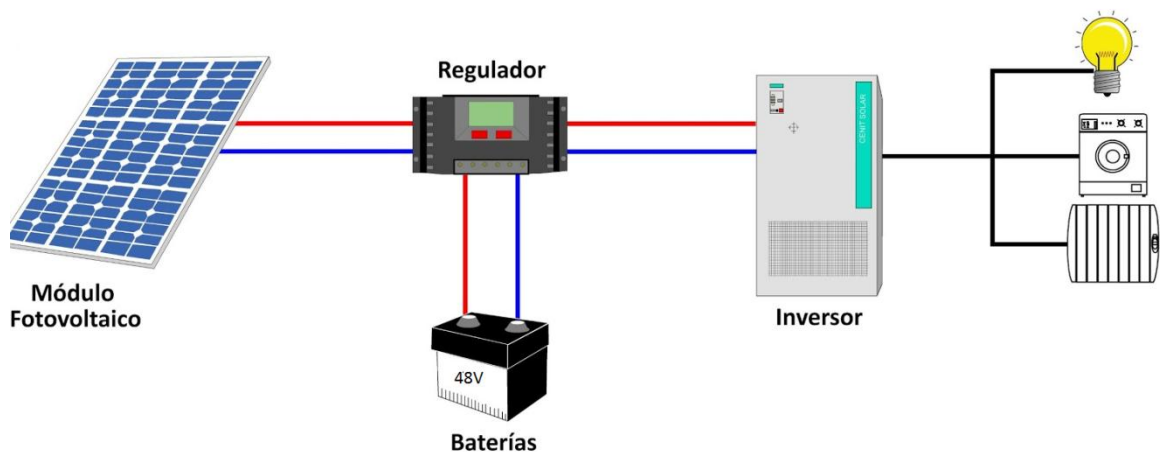


Figura 38: esquema de un sistema solar fotovoltaico.

### 7.1.1. Módulos fotovoltaicos

El panel solar seleccionado para el presente proyecto es de marca Sun Power, referencia: SPR-327NE-WHTR-D, con las siguientes características:

Tensión eléctrica de en punto de máxima potencia  $V_{mpp} = 48 \text{ V}$

Potencia nominal (+5/-3%) :  $P_{nom} = 327 \text{ W}$

Corriente en el punto de máxima potencia  $I_{mpp} = 5.98 \text{ A}$

Tensión de circuito abierto  $V_{oc} = 64.9 \text{ V}$

Corriente de cortocircuito  $I_{cc} = 6.46 \text{ A}$

Estos parámetros son para condiciones estándar de irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$  y temperatura de célula de  $25^\circ\text{C}$ .

Se elige este tipo de panel fotovoltaico, teniendo en cuenta que el fabricante ofrece este producto como conveniente para limitaciones de espacio o peso. Este sistema de panel para cubierta, combina el panel, el bastidor y la estructura en una sola pieza. El material polímero del bastidor con refuerzo de fibra es de gran ligereza y durabilidad con bordes regulares y tiene vida útil de 30 años. Se puede adaptar en cubiertas planas o de poca inclinación. Adicionalmente ofrece una eficiencia mayor del 20%.



Figura 39: sistema solar T5 Sun Power.

### **7.1.2. Estructura del soporte**

Se ha seleccionado un fabricante (Sun Power) que integra el panel con un bastidor y la estructura en una sola unidad, tal como se muestra en la figura 35 por lo tanto, el bastidor con que cuenta el panel seleccionado, permite la instalación en el aula móvil sin necesidad de armar una estructura adicional que soporte los paneles.

### **7.1.3. Regulador**

Para el aula móvil 1 se deberá utilizar un regulador que soporte una corriente de entrada de 135 A y una corriente de salida de 144,7 A.

Se selecciona el Regulador Steca Power Taron 4140 48 voltios de tensión, el cual está diseñado para aplicaciones industriales y al aire libre, se suministra en una carcasa de acero recubierto de polvo sintetizado con grado de protección IP65, debido a que es posible conectar en paralelo varios controladores, de esta manera se pueden lograr una potencia superior a 20 kWp.

#### **7.1.3.1. Características del producto:**

- Controlador híbrido
- Determinación del estado de carga (SOC)
- Selección automática de tensión
- Regulación MAP
- Tecnología de carga escalonada
- Desconexión de carga en función de SOC
- Reconexión automática de la carga
- Compensación de temperatura
- Toma de tierra en una o varias terminales positivas o solo en una de las terminales negativas
- Registro de datos integrado
- Función de luz nocturna con Steca PA 15
- Función de autocontrol
- Contador de energía integrado

#### **7.1.3.2. Funciones de protección electrónica**

- protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos la carga y la batería

- Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra circuito abierto sin baterías
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretensión y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en las baterías

#### **7.1.3.3. Certificaciones:**

- Conforme al uso en zonas tropicales (DIN IEC 68 parte 2-30)
- Conforme a los estándares europeos (CE)
- Fabricado en Alemania
- Desarrollado en Alemania
- Fabricado conforme a ISO 9001 e ISO 14001

#### **7.1.4. Baterías:**

Para el Aula móvil 1, Se selecciona 8 baterías: Batería rolls 6 cs 25p – 1156 a 6v, para alcanzar el nivel de tensión, conectadas en serie de las de las siguientes características:



Figura 40: Batería rolls 6 cs 25p – 1156 a 6v

#### **7.1.4.1. Dimensiones**

- largo 559 mm
- ancho 285 mm
- alto 464 mm
- peso en seco 115, kg
- peso llena 145 kg

#### **7.1.4.2. Estructura de la batería**

- contenedor interior de polipropileno
- carcasa interior de polipropileno
- contenedor exterior de polietileno de alta densidad
- carcasa exterior de polietileno de alta densidad
- asas de plástico montadas en la carcasa
- Placas por celda: 11
- Reserva de electrolito: por encima de las placas 95 mm

#### **7.1.4.3. Criterios de diseño**

- 10 años de garantía
- 3300 ciclos
- 15 años de vida

#### **7.1.5. Inversor:**

El inversor deberá tener una capacidad de: 12160,8 w para esta capacidad se seleccionan 4 inversores de 3000 w a 48 voltios conectados en paralelo.

Inversor Phoenix 48/3000  
Fabricante Victron Energy  
Rango de Potencia (W) : 2500-3000w  
Tensión Eléctrica: 48v

#### **7.1.5.1. Gran potencia instantánea**

La tecnología SinusMax permite alcanzar una potencia instantánea muy elevada, imposible de conseguir con los sistemas convencionales de alta frecuencia. Así pues, los inversores Phoenix resultan muy adecuados para la alimentación de aparatos que requieren una elevada potencia de arranque, como neveras, congeladores, aires acondicionados y similares.

### **7.1.5.2. Potencia multiplicada gracias al funcionamiento en paralelo y en trifásico**

Hasta un total de 6 inversores Phoenix pueden funcionar en paralelo y sumar así su potencia (determinados modelos, ver especificaciones). Por ejemplo, seis Phoenix 24/3000 proporcionan juntos una potencia nominal de 15 kW / 18 kVA. Además, se pueden realizar configuraciones para sistemas trifásicos utilizando uno o más aparatos para cada una de las fases.

### **7.1.5.3. Para cambiar la salida a otra fuente de alimentación:**

Si se necesita un conmutador de transferencia automática en los modelos de 1.200 VA o superiores, se recomienda utilizar un aparato equivalente de la gama Multi. El conmutador está integrado en estos aparatos y su función como cargador se puede desactivar. Para los modelos de potencia inferior recomendamos el conmutador automático externo Filax. El cambio del Multi y del Filax se realiza tan rápidamente que no provoca ninguna alteración en ordenadores ni otros aparatos sensibles conectados.

### **7.1.5.4. Puerto de comunicación**

Todos los modelos de 1.200 VA y superiores están equipados con un puerto de comunicación RS485. Con la interface MK2 y software gratuito VEConfigure, este puerto permite personalizar todos los ajustes del cargador Phoenix (tensión y frecuencia de salida, umbrales de tensión de entrada...) e integrarlo en redes informatizadas de control y gestión. VEConfigure permite además programar un relé interno para avisar de alarmas o arrancar un grupo electrógeno.

## **7.2. Aula móvil 2**

### **7.2.1. Módulos fotovoltaicos:**

El panel solar seleccionado para esta aula es de la misma referencia de panel del aula móvil 1: SPR-327NE-WHTR-D, con las siguientes características:

Tensión eléctrica de en punto de máxima potencia  $V_{mpp} = 48 \text{ V}$

Potencia nominal (+5/-3%):  $P_{nom} = 327 \text{ W}$

Corriente en el punto de máxima potencia  $I_{mpp} = 5.98 \text{ A}$

Tensión de circuito abierto  $V_{oc} = 64.9 \text{ V}$

Corriente de cortocircuito  $I_{cc} = 6.46 \text{ A}$

Estos parámetros son para condiciones estándar de irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$  y temperatura de célula de  $25^\circ\text{C}$ .



Figura 41: sistema solar T5 Sun Power.

### **Estructura del soporte**

Se ha seleccionado el fabricante Sun Power que integra el panel con un bastidor y la estructura en una sola unidad, tal como se muestra en la figura 35 por lo tanto, el bastidor con que cuenta el panel seleccionado, permite la instalación en el aula móvil sin necesidad de armar una estructura adicional que soporte los paneles.

### **7.2.2. Regulador**

Para el aula móvil 2 el regulador deberá manejar una corriente de entrada de 23 amperios y una corriente de salida de 63 amperios.

El Steca Tarom es un controlador de carga solar especialmente indicado para ser usado en telecomunicaciones o en sistemas fotovoltaicos híbridos. Un gran número de funciones interesantes permiten al usuario adaptar el controlador a las condiciones especiales de su sistema. Mediante la determinación del estado de carga de la batería, que ha sido de nuevo claramente mejorada, el sistema se regula de forma óptima y las baterías están protegidas. El controlador de carga Steca Tarom es la mejor selección para dimensiones de sistema de hasta  $2.400 \text{ Wp}$  en tres niveles de voltaje ( $12 \text{ V}$ ,  $24 \text{ V}$ ,  $48 \text{ V}$ ). Opcionalmente cabe la posibilidad



de conectar otros dispositivos como un sensor de temperatura, un registrador de datos y un control remoto para configurar y monitorizar el sistema. Un contador de energía integrado (Ah) informa al usuario sobre el presupuesto energético de la aplicación.

#### **7.2.2.1. Características del producto**

- Controlador híbrido
- Determinación del estado de carga con el Steca AtonIC (SOC)
- Selección automática de voltaje
- Regulación MAP
- Tecnología de carga escalonada
- Desconexión de carga en función de SOC
- Reconexión automática de la carga
- Compensación de temperatura
- Toma de tierra en una o varias terminales positivas o sólo en una de las terminales negativos
- Registrador de datos integrado
- Función de luz nocturna con el Steca PA 15
- Función de autocontrol
- Carga mensual de mantenimiento
- Contador de energía integrado

#### **7.2.2.2. Funciones de protección electrónica**

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos solares y de la carga
- Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra circuito abierto sin batería
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretensión y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería.

### **7.2.3. Baterías**

Se conectará 8 baterías en serie de 6 V para alcanzar la tensión a la cual el sistema trabajará

Se utilizará baterías de referencia: Rolls 6 cs 25p – 500 A 6v

Con las mismas especificaciones que las baterías utilizadas para el aula móvil 1, al ser del mismo fabricante.

### **7.2.4. Inversor**

El inversor será de 2278.8 Para esta aula se selecciona un inversor con las siguientes características:

Inversor Phoenix 48/3000 Fabricante Victron Energy  
Rango de Potencia (W) 2500-3000w  
Tensión Eléctrica 48v

#### **7.2.4.1. Gran potencia instantánea**

La tecnología SinusMax permite alcanzar una potencia instantánea muy elevada, imposible de conseguir con los sistemas convencionales de alta frecuencia. Así pues, los inversores Phoenix resultan muy adecuados para la alimentación de aparatos que requieren una elevada potencia de arranque, como neveras, congeladores, aires acondicionados y similares.

#### **7.2.4.2. Potencia multiplicada gracias al funcionamiento en paralelo y en trifásico**

Hasta un total de 6 inversores Phoenix pueden funcionar en paralelo y sumar así su potencia (determinados modelos, ver especificaciones). Por ejemplo, seis Phoenix 24/3000 proporcionan juntos una potencia nominal de 15 kW / 18 kVA. Además, se pueden realizar configuraciones para sistemas trifásicos utilizando uno o más aparatos para cada una de las fases.

## 8. ESQUEMA DE CONEXIONES

A continuación se presentan las figuras del esquema de conexiones, tanto para el sistema fotovoltaico del aula 1 como el del aula 2.

### 8.1. Esquema de conexión aula móvil 1

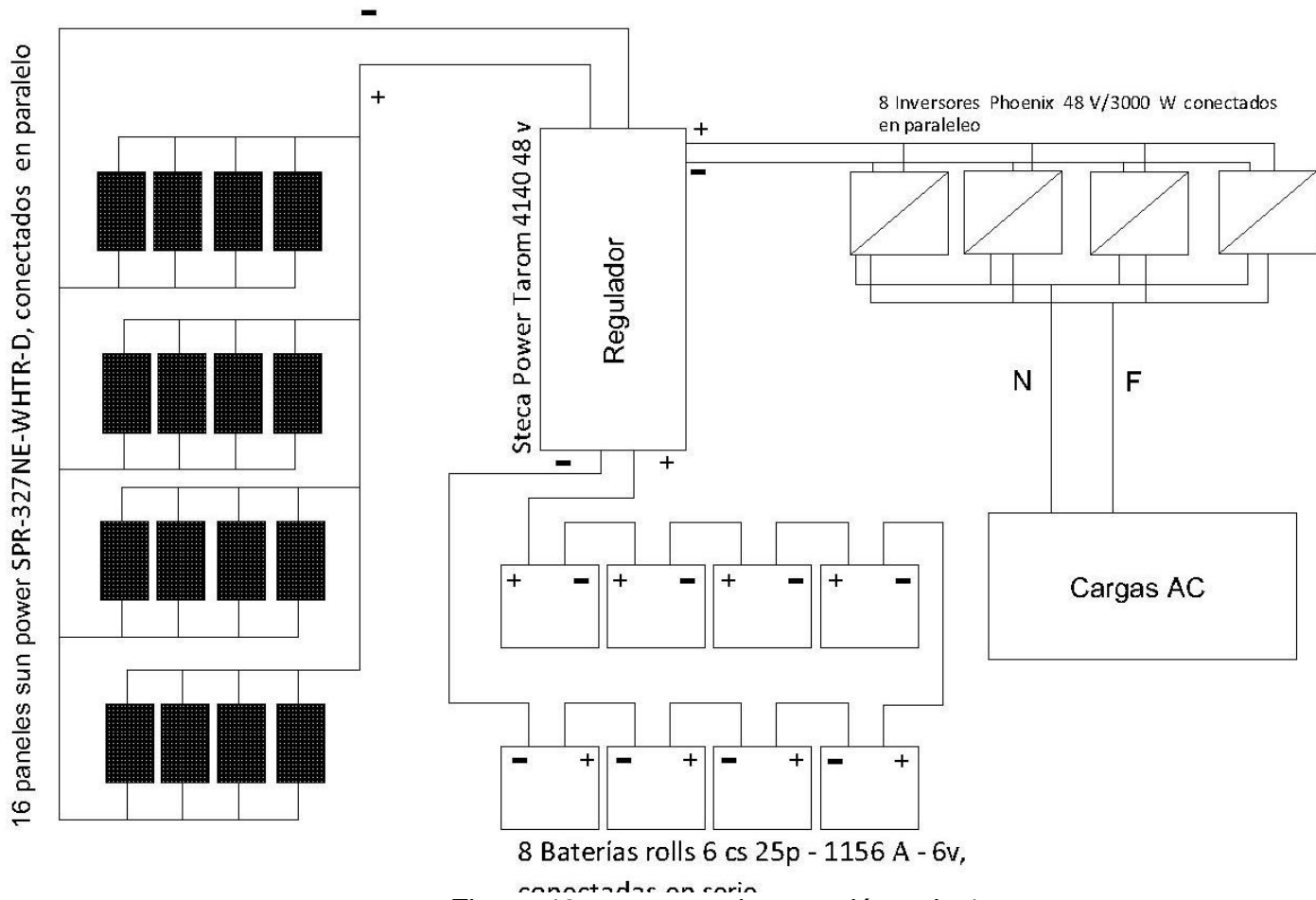


Figura 42: esquema de conexión aula 1

## 8.2. Esquema de conexión aula móvil 2

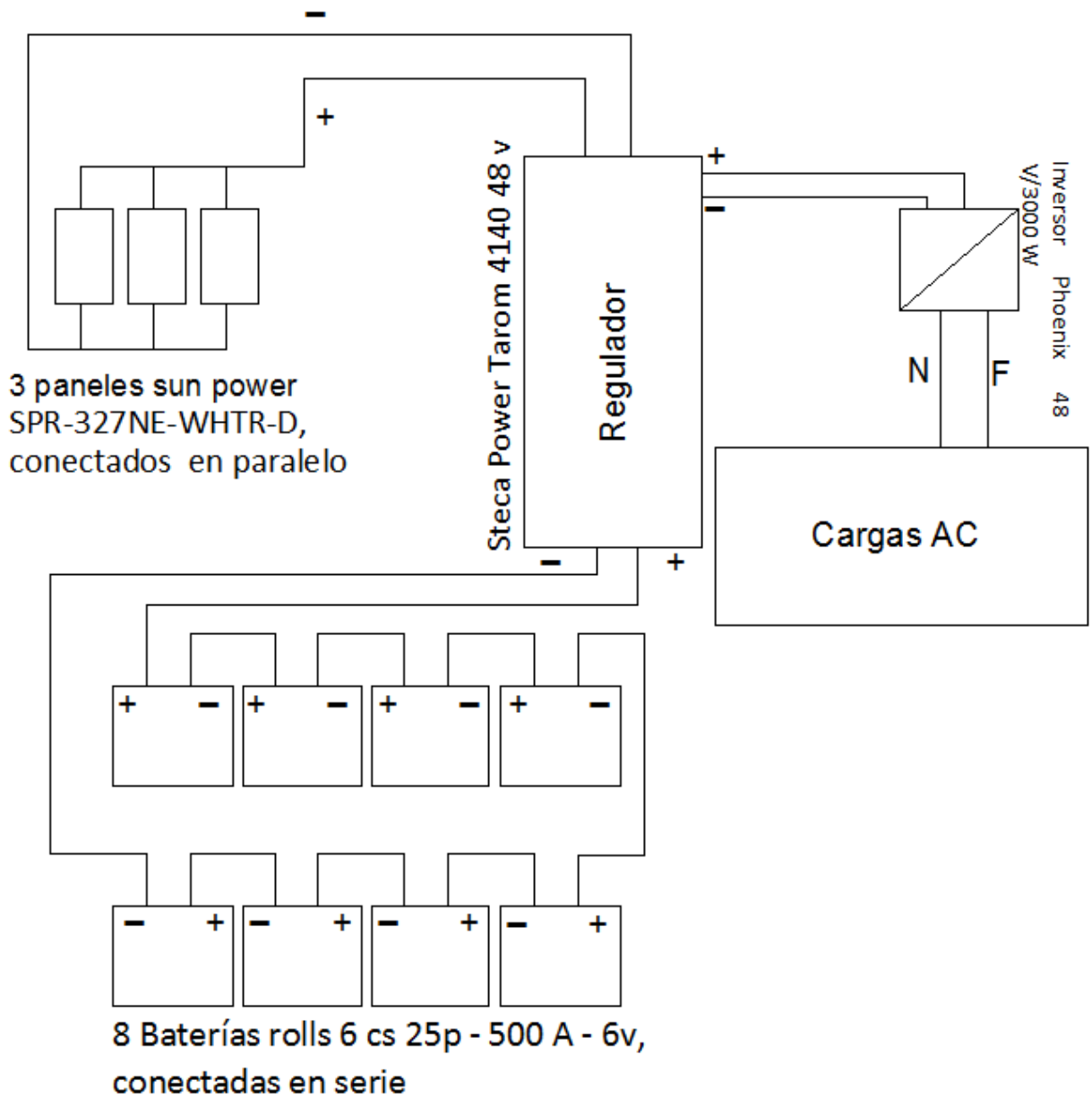


Figura 43: esquema de conexión aula móvil 2

## **9. ELEMENTOS DEL SISTEMA EN LAS AULAS MOVILES**

### **9.1. Aula móvil 1:**

#### **9.1.1. Paneles solares**

El primer elemento del sistema solar fotovoltaico a instalar en el aula móvil son los 16 paneles correspondientes para esta aula, los paneles estarán ubicados en la parte superior del bus. Con el fin de aprovechar este espacio, además es el lugar más adecuado pues de aprovecha mucho la radiación del sol y no estorban en la operación normal del aula.

El área del techo del bus es de  $24\text{m}^2$  lo que nos permite instalar 12 paneles directamente, los 4 paneles resaltantes estarán montados sobre una estructura de soporte móvil, la cual estará sujeta al chasis de bus atreves de pernos.

Esta estructura nos permite abrir los paneles cuando el bus este estacionado es decir listo para su normal funcionamiento, cuando el bus este en movimiento en carretera, la estructura se cerrara permitiendo una mayor comodidad para el conductor y para no exponer a los paneles a riesgos de que choquen contra algo y sufran averías.

A continuación se muestra como quedarían los paneles instalados con la estructura de soporte.

## Vista superior

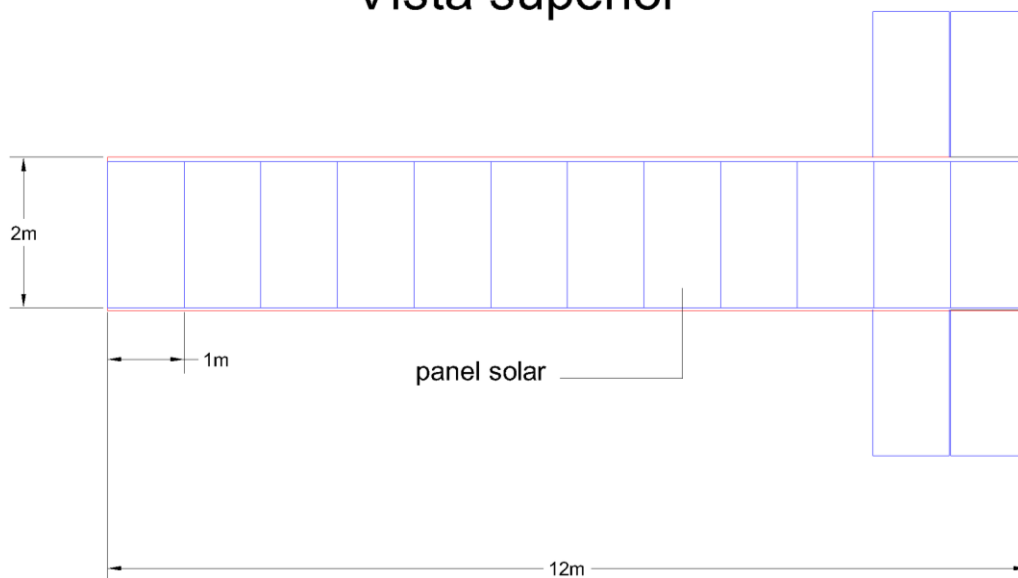


Figura 44: vista superior aula móvil 1

## Vista lateral

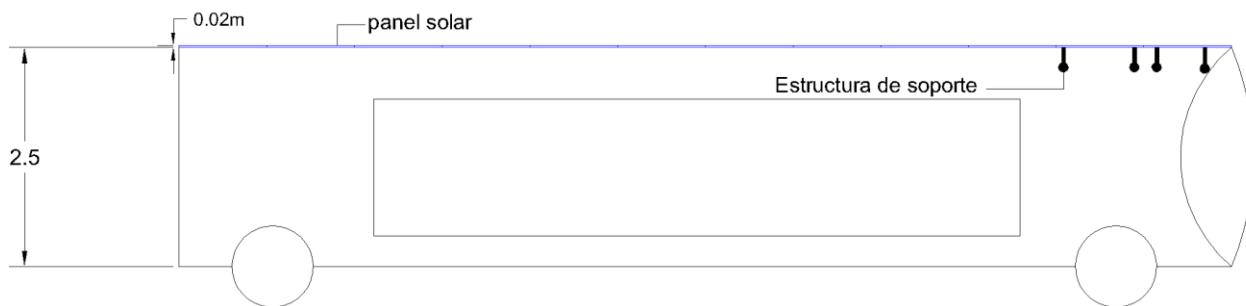


Figura 45: vista lateral aula móvil 1

## Vista frontal

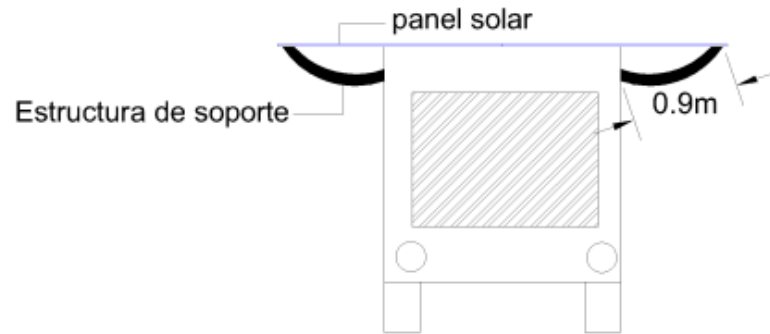


Figura 46: vista frontal

A continuación se presenta una maqueta de cómo se vería el aula con los paneles instalados en la parte superior de él:



Figura 47: Maqueta gráfica paneles aula móvil 1

### 9.1.2. Baterías.

Número de baterías: 8

Dimensiones de las 8 baterías: 559 largo 285 ancho 464 alto

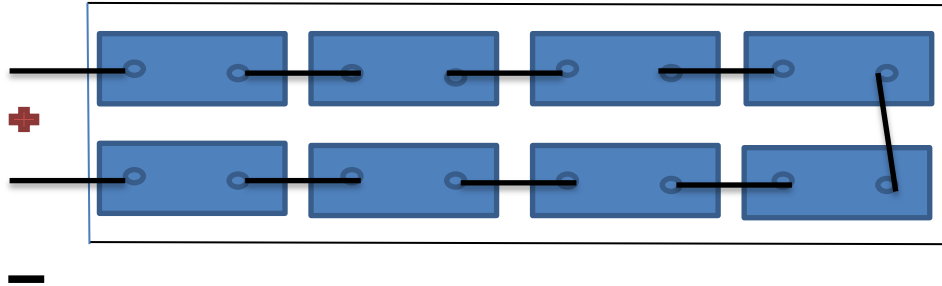


Figura 48: esquema conexión baterías

El aula móvil tipo bus tiene en la parte inferior trasera, un compartimiento cuyas dimensiones 2,67 m de largo, 0,62 m de ancho y 0,54 m de alto por esta razón se dispone este espacio para la ubicación del banco de baterías, puesto que cada batería tiene 0,559 m de largo y cuatro baterías alineadas ocupan un espacio de 2,24 m, a lo largo del compartimiento. Así mismo el ancho de 2 baterías ocupa un espacio de 0,57 m y se dispone de un espacio de 0,62 m a lo ancho y la altura de las baterías es de 0,464 m y se tiene una altura en el compartimiento de 0,54 m con esto se concluye que no hay problema de espacio para la ubicación del banco de baterías. Es recomendable realizar adecuación y refuerzo a la estructura existente debido al peso que soportará al ser instaladas las 8 baterías que pesan 145 kg llenas.



Figura 49: espacio de instalación baterías



### 9.1.3. Regulador e inversor

En el interior del aula se encuentra un espacio de 2,4 m de alto por 0,55 m de ancho al lado de la UPS. En este espacio se instalarán los 4 inversores que miden 0,362 m de alto 0,285 m de ancho y 0,218 de profundidad y el regulador que mide 0,33 m de largo, 0,36 m de alto y 0,157 m de ancho se recomienda instalar una puerta que garantice la seguridad para que solo pueda acceder personal autorizado.

## 9.2. Aula móvil 2

### 9.2.1. Paneles solares

La distribución de los paneles en el aula móvil 2 es mucho más cómoda pues se manejan 3 paneles en un área de 12m<sup>2</sup> lo cual quiere decir que no es necesario colocar una estructura adicional para los paneles.

# Vista frontal

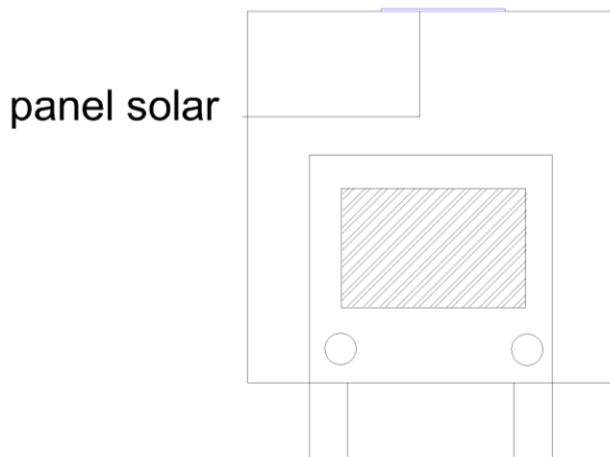


Figura 50: vista frontal aula móvil 2

# Vista lateral

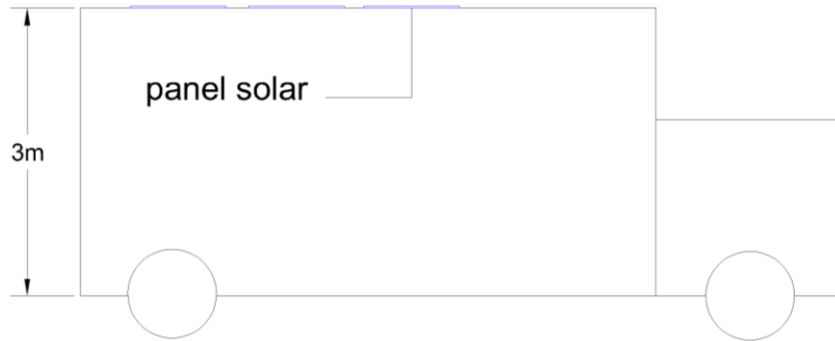


Figura 51: vista lateral aula móvil 2

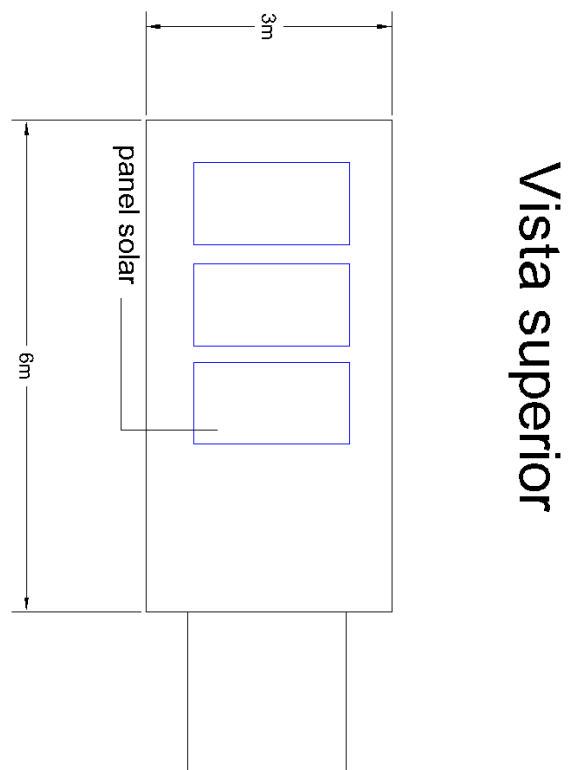


Figura 52: Vista superior

### 9.2.2. Batería regulador e inversor.

Cuenta con un espacio en su parte trasera de una dimensiones de 3m de larga y un metro de ancho, dimensiones suficientes para alberga las baterías dispuestas para esta aula además del regulador y el inversor.

A continuación se observa el lugar físico descrito anteriormente.



Figura 53: sitio instalación baterías

## 10. COSTOS DE LA INSTALACIÓN

Para determinar los costos de instalación se hizo la cotización con los diferentes fabricantes, estas cotizaciones fueron dadas en moneda extranjera, en los siguientes cuadros se hizo el respectivo cambio de moneda

### Aula móvil 1

Equipo	Número equipo	Costo unitario	Costo total
Panel solar: SPR-327NE-WHTR-D	16	\$ 618.357,00	\$ 9.893.712,00
regulador: Steca Power Tarom 4140	1	\$ 2.210,00	\$ 5.520.580,00
Batería rolls 6 cs 25p – 1156 a 6v	8	\$ 1.260,00	\$ 25.179.840,00
inversor Phoenix 48/3000	4	\$ 1.569,00	\$ 15.677.448,00
total costo			<b>\$ 56.271.580,00</b>

### Aula móvil 2

Equipo	Número equipo	Costo unitario	Costo total
Panel solar: SPR-327NE-WHTR-D	3	\$ 618.357,00	\$ 1.855.071,00
regulador: Steca Power Tarom 4140	1	\$ 2.210,00	\$ 5.520.580,00
Batería rolls 6 cs 25p – 1156 a 6v	8	\$ 900,00	\$ 17.985.600,00
inversor Phoenix 48/3000	1	\$ 1.569,00	\$ 3.919.362,00
total costo			<b>\$ 29.280.613,00</b>

## 11. CONCLUSIONES

Una vez terminado el proceso de diseño del sistema solar fotovoltaico objeto de este trabajo de grado, se concluye que se lograron los objetivos planteados, es decir, se elaboró el censo de carga de las dos aulas móviles, se realizó el cálculo del número total de paneles necesarios para mantener cargado el banco de baterías con autonomía suficiente de 2 días con su respectivo arreglo de conexión de los paneles calculados. Se calcularon y seleccionaron los componentes eléctricos y electrónicos como el número de baterías necesarios para mantener la carga funcionando durante 2 días sin sol y los componentes electrónicos como el regulador que se mantendrá vigilante al estado de carga de las baterías evitando daños y el inversor que alimentará la carga de corriente alterna, en todos ellos se tuvo en cuenta la eficiencia y pérdidas técnicas de cada uno de estos elementos así como las variaciones de temperatura

De acuerdo a las mediciones de ruido provocado por el funcionamiento de la planta de generación eléctrica con que cuenta el aula móvil, la cual excede los niveles establecidos por el medio ambiente, se concluye que es justificable la posterior implementación del diseño realizado en este proyecto, puesto que el silencio es un valor agregado que presentan los sistemas solares fotovoltaicos, es decir con la implementación de este sistema, el aula móvil operará en total silencio. Así como la poca emisión de gases de CO<sub>2</sub>, emisiones que con la planta son elevados por el uso de combustible fósil.

Además de esto se agrega la comodidad de usar el sistema fotovoltaico, pues se evita la gestión, de encontrar a una persona que realice la conexión a la red local de distribución, que en general la realizan personas empíricas, realizando, en la mayoría de los casos una mala conexión, generando problemas de funcionamiento para los equipos y de seguridad para los usuarios del aula móvil.

Durante la etapa de diseño se pudo comprobar que es notable la conveniencia de tener en cuenta todas las variables que intervienen en el proceso de diseño del sistema solar fotovoltaico, tales como horas pico solares del sitio de instalación, el número de días de autonomía, grados de inclinación de acuerdo a la latitud del lugar, etcétera, debido a que al ignorarlas se corre el riesgo de subdimensionar los componentes con el agravante de mal funcionamiento y posibles fallas graves.

## 12. RECOMENDACIONES

Actualmente en el aula móvil 1, hay problemas de electrocuciones mínimas o pequeños choques debido a un conductor del sistema eléctrico hace contacto con el chasis del aula. Debido a esto se hace necesaria la revisión de todo el sistema eléctrico para descubrir la falla a tierra (masa) y poder solucionar este problema.

Hacer un sistema de puesta tierra local, con todas las especificaciones que este requiera, de manera tal en caso de fallas los instructores y aprendices además de todas las personas que tengan acceso al bus, se encuentren seguras de riesgo eléctrico.

En la realización del cálculo efectivo de refrigeración se pudo determinar que el sistema actual de refrigeración, con que cuenta el aula 1, está sobredimensionado, pues en este cálculo se tuvieron en cuenta todas las variables, la capacidad del mini-split, no superó los 18000BTU, y en el aula se encuentra instalado uno de 24000BTU.

Este sobredimensionamiento provoca principalmente 2 consecuencias, la primera de ellas es la incomodidad de los usuarios de aula, pues no estarán bajo una zona de confort, es decir con un frío excesivo; la segunda consecuencia que tiene que ver con nuestro proyecto es la utilización de un panel más, lo cual sería un gasto innecesario.

Para evitar todas estas consecuencias se recomienda instalar un aire acondicionado tipo mini-split de una capacidad de 18000BTU, lo cual es suficiente para mantener una zona de confort en el aula.

Capacitación a los instructores encargados del aula, con el propósito de entregar los conocimientos necesarios para el manejo y correcto funcionamiento de los componentes del sistema SFV.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ICONTEC.** *Energía solar fotovoltaica. Terminología y definiciones.* Bogota : ICONTEC, 2005.
2. **Sanchez, Miguel Angel.** *Energía solar fotovoltaica.* Mexico : Limusa, 2008.
3. **Gasquet., Ing. Héctor L.** *Manual de Energía Solar.* Austin Texas 79926 USA. : El Paso Solar Energy Association, P.O. Box 26384, 2008.
4. **ambiente, Ministerio de medio.** *resolucion 0627.* Bogotá : s.n., 2006.
5. **Palz., Wolfgang.** *Electricidad solar: Estudio económico de la Energía Solar.* UNESCO : Blume, 1979.
6. **Perales Benito, Tomás.** *Guía del Instalador de Energías Renovables: Energía Fotovoltaica, Energía térmica, Energía eólica, y climatización.* México : Limusa Noriega Editores, 2007.
7. **Harper, Gilberto Enríquez.** *EL ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos.* Mexico : Limusa, 2011.
8. **ICONTEC.** *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC2883.* Bogota : ICONTEC, 2007.
9. —. *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC2959.* Bogota : ICONTEC, 1991.
10. *Compañía Internacional de Telecomunicaciones Ltda. C.I.T. Ltda.* [En línea] [Citado el: 15 de Enero de 2013.] [http://www.citltda.cl/bat\\_haze.htm](http://www.citltda.cl/bat_haze.htm).
11. *Scribd.* [En línea] [Citado el: 20 de Enero de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/32602371/REGULADORES-DE-CARGA>.
12. **Mora, Carlos Roberto Prado.** *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.* Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2008.
13. **ICONTEC.** *Norma tecnica colombiana 2050.* Bogota : ICONTEC, 1998.
14. *Europe Sun fields.* [En línea] [Citado el: 25 de Febrero de 2013.] <http://www.sfe-solar.com/wp->

# Anexos



## **ANEXO 1. GLOSARIO**

**ANGULO DE INCLINACION:** Es el formado entre la superficie colectora y la horizontal del lugar de instalación. (1), (2)

**ANGULO DE INCIDENCIA:** Para un ángulo de inclinación y la posición del sol, existirá un ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie colectora. (1), (2)

**AMORFO:** Arreglo desordenado de los átomos de un sólido. Sólido no cristalino

**ARREGLO FOTOVOLTAICO:** Todos los componentes que funcionan como una unidad generadora de electricidad, incluyendo la estructura que soporta los paneles fotovoltaicos. (1), (2)

**AUTONOMIA:** Tiempo disponible de la energía acumulada en baterías sin haber luz solar que las alimente a través de los paneles. (1), (2)

**BATERIA:** Componente del arreglo fotovoltaico encargado de acumular energía eléctrica proveniente de los paneles fotovoltaicos y de entregarla a la carga en forma de corriente continua de acuerdo a los requerimientos. La energía acumulada en forma química tiene la capacidad de realizar el proceso cíclicamente (recarga). (1), (2)

**CARGA:** Elemento eléctrico consumidor de potencia eléctrica dentro de un circuito. También se determina carga a la potencia eléctrica consumida en un instante. (1), (2)

**POTENCIA PICO.** La potencia pico de un arreglo fotovoltaico es la máxima potencia que éste puede generar teniendo en cuenta que existan ciertas condiciones estándar y es medida en vatios. (1), (2)

**COMPONENTES DEL SISTEMA:** Cada uno de elementos del arreglo fotovoltaico diferentes a aquellos destinados a conectarse al sistema para consumir energía. Ellos son: panel fotovoltaico, regulador de carga, baterías, inversor o convertidor DC-AC, cables eléctricos, breakers, fusibles, puesta a tierra, estructura de montaje. (1), (2)

**CONDICIONES ESTANDAR.** Los sistemas fotovoltaicos se prueban siempre y cuando existan unas condiciones mínimas normalizadas. Ellas son:

Temperatura: 25° C

Irradiación: 1000 W/m<sup>2</sup>

Masa de Aire: 1.5

La masa de aire es una medida de la distancia que recorre la luz solar al atravesar la atmósfera, esta medida varía de acuerdo al Angulo de incidencia del rayo de sol en el plano del panel. (1)

CONEXION PARALELO: Dos o más elementos se conectan en paralelo cuando sus terminales están interconectadas entre sí de tal manera que en todos ellos exista la misma tensión eléctrica, pero no necesariamente igual corriente, la cual depende de la resistencia de los elementos conectados. (2)

CONEXIÓN SERIE: Conexión en cadena de elementos eléctricos de un circuito. Uno seguido del otro, es decir, la salida del primero es la entrada del otro. En ellos existe igual corriente, pero no necesariamente igual tensión eléctrica, la cual depende de la resistencia de cada uno de ellos. (2)

CORRIENTE ALTERNA: Se abrevia CA o AC. Es aquella en la cual el valor y la polaridad varían de manera periódica, generándose una oscilación con forma de onda senoidal. (1), (2).

CORRIENTE CONTINUA O DIRECTA: Corriente eléctrica donde los electrones fluyen en un solo sentido o dirección dentro de un circuito eléctrico. (1), (2).

CORRIENTE DE CARGA: Es la corriente suministrada por un sistema fotovoltaico, a una condiciones particulares de irradiación y temperatura hacia una carga conectada entre sus terminales. (1).

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO: Es la corriente que suministra un módulo o un arreglo fotovoltaico a través de un circuito externo de resistencia cero. Es la corriente máxima posible que puede suministrar un sistema fotovoltaico en condiciones estándar. (1), (2)

DESCARGA PROFUNDA: Es el nivel máximo permisible de descarga que especifica un fabricante de batería sin que éstas sufran deterioro alguno de sus componentes. (1)

DIA SOLAR (DS): Es el valor promedio de horas, del total de horas de disponibilidad de sol entre el amanecer y el anochecer. (1).

FOTOVOLTAICO (A): Palabra compuesta del griego: FOTO que traduce “luz” y VOLTAICO que significa “eléctrico”. (1), (2)

VALOR PROMEDIO: Los fabricantes especifican los paneles FV con un valor máximo de potencia que pueden generar en condiciones estándar, pero las variaciones del sol hacen necesario hacer una reducción al denominado “valor promedio”. (1).

FOTOVOLTAICO (FV): Conversión de la energía lumínica en energía eléctrica. (1), (2)

INVERSOR: Dispositivo capaz de transformar la corriente directa en corriente alterna. (1), (2)

MODULO FOTOVOLTAICO: Dispositivo conformado por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) interconectadas eléctricamente y ensambladas en una unidad, esto incluyen la estructura o marco metálico, terminales para conexiones eléctricas y diodos de derivación. (1), (2)

PANEL FOTOVOLTAICO: Elemento formado por un conjunto de celdas unidas eléctricamente (células fotovoltaicas) con las cuales se produce electricidad debido a su propiedad de transformar la incidencia de la energía solar que incide sobre ellos en electricidad. (1), (2)

PERDIDAS: Cuando un tipo de energía se transforma en otra (solar a eléctrica) no puede llevarse a cabo sin que ocurran pérdidas. (2)

RECTIFICADOR: Elemento capaz de convertir la corriente alterna de entrada en corriente continua de salida. (1), (2)

CONTROLADOR DE CARGA O REGULADOR: Dispositivo encargado de controlar sobrecargas y sobredescargas profundas que pueden suceder en la batería. Garantiza que se logre alcanzar la vida útil de la batería. Controla constantemente el estado de carga y descarga de la batería regulando la intensidad de corriente de funcionamiento. (1), (2)

SILICIO: Elemento de naturaleza semimetálica cuyo número atómico es 14. Su coloración es gris oscuro. Se comporta como un gran semiconductor. Es el segundo elemento más abundante sobre la tierra después del oxígeno. Forma parte de la arena, las rocas y el cuarzo. (1), (2)

SILICIO MONOCRISTALINO: Es el resultado de un proceso químico muy complicado derivado de la arena de cuarzo y limpieza, hecho de un material

fundido de silicio de alta pureza la cual se solidifica formando una sola estructura cristalina uniforme que facilita el flujo de electrones. (1), (2)

**SILICIO POLICRISTALINO:** Se trata del silicio que se fundido y creado un bloque sólido de múltiples cristales (cristalitas). Las cristalitas se componen de átomos que se han acomodado de forma simétrica mientras que éstas se adoquinan. (1), (2)

**SISTEMA DE PUESTA A TIERRA:** Todos los elementos conductores de la electricidad conectados equipotencialmente de un sistema eléctrico específico sin interrupciones ni con fusibles que permanecen en contacto con el suelo o terreno o una masa metálica de referencia común, tiene como función principal conducir la corriente eléctrica de falla para evitar la presencia de tensiones que lleguen a provocar riesgo a los seres vivos o a los equipos conectados. (1), (2)

**TEMPERATURA DE LA CELDA:** Temperatura del empalme del semiconductor de una celda fotovoltaica. (2)

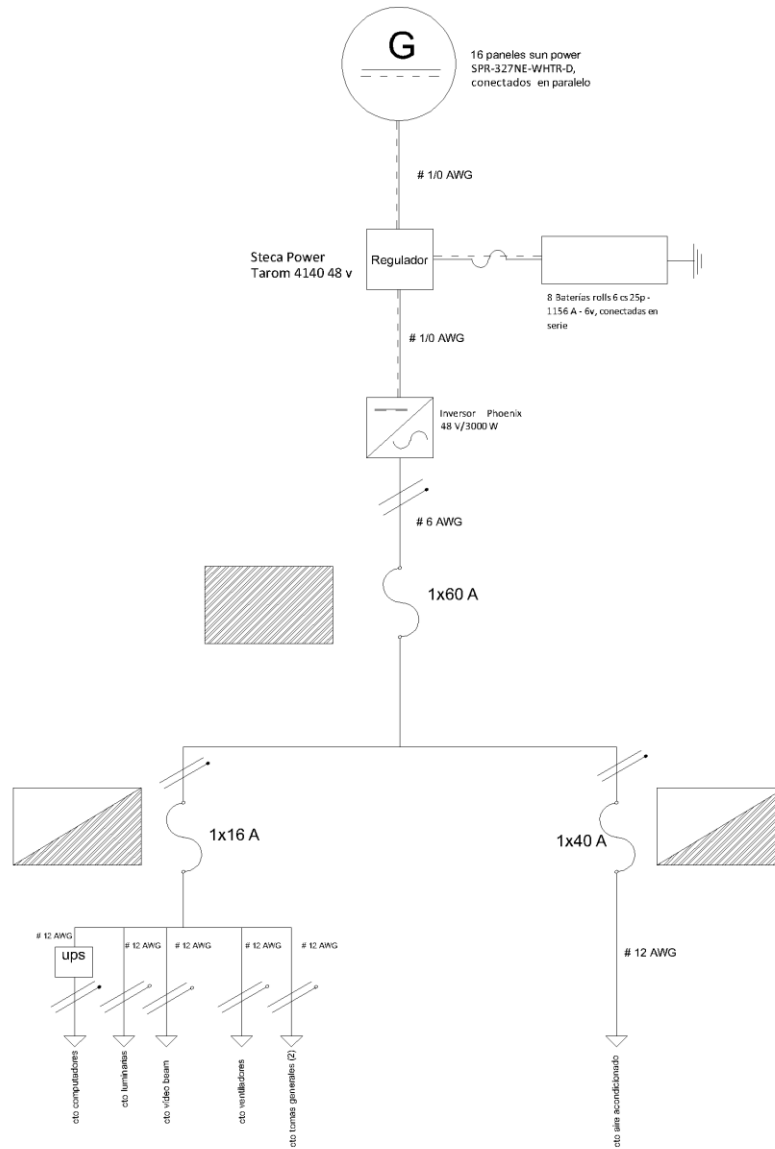
**TEMPERATURA NOMINAL DE OPERACIÓN DE LA CELDA:** Temperatura media de equilibrio de la celda solar dentro del panel FV en condiciones estándar y circuito abierto eléctricamente en montaje abierto para incidencia normal en el medio día solar. (2)

**TENSIÓN ELECTRICA DE LA CARGA:** Tensión eléctrica medida en los terminales de una (2)

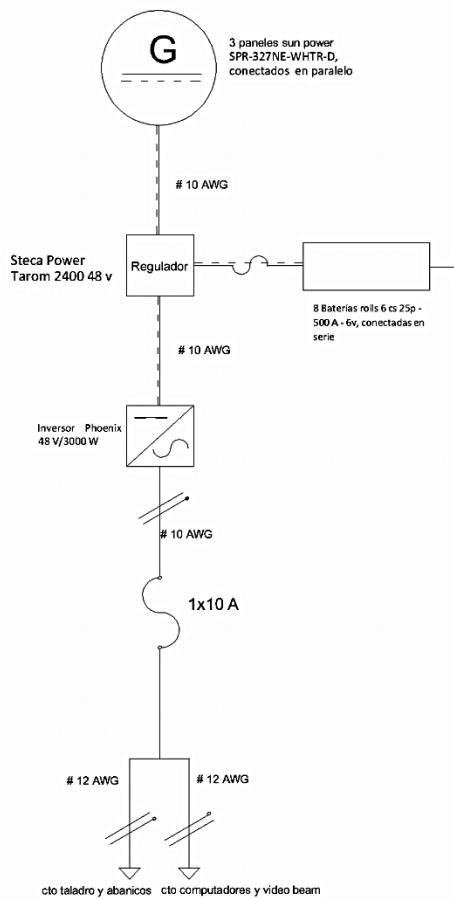
**TENSION ELÉCTRICA DE CIRCUITO ABIERTO:** Tensión eléctrica medida en los terminales de salida de un arreglo FV sometido a irradiación siempre que el flujo de corriente en ellos sea cero. (2)

ANEXO 2

# Diagrama unifilar aula móvil 1

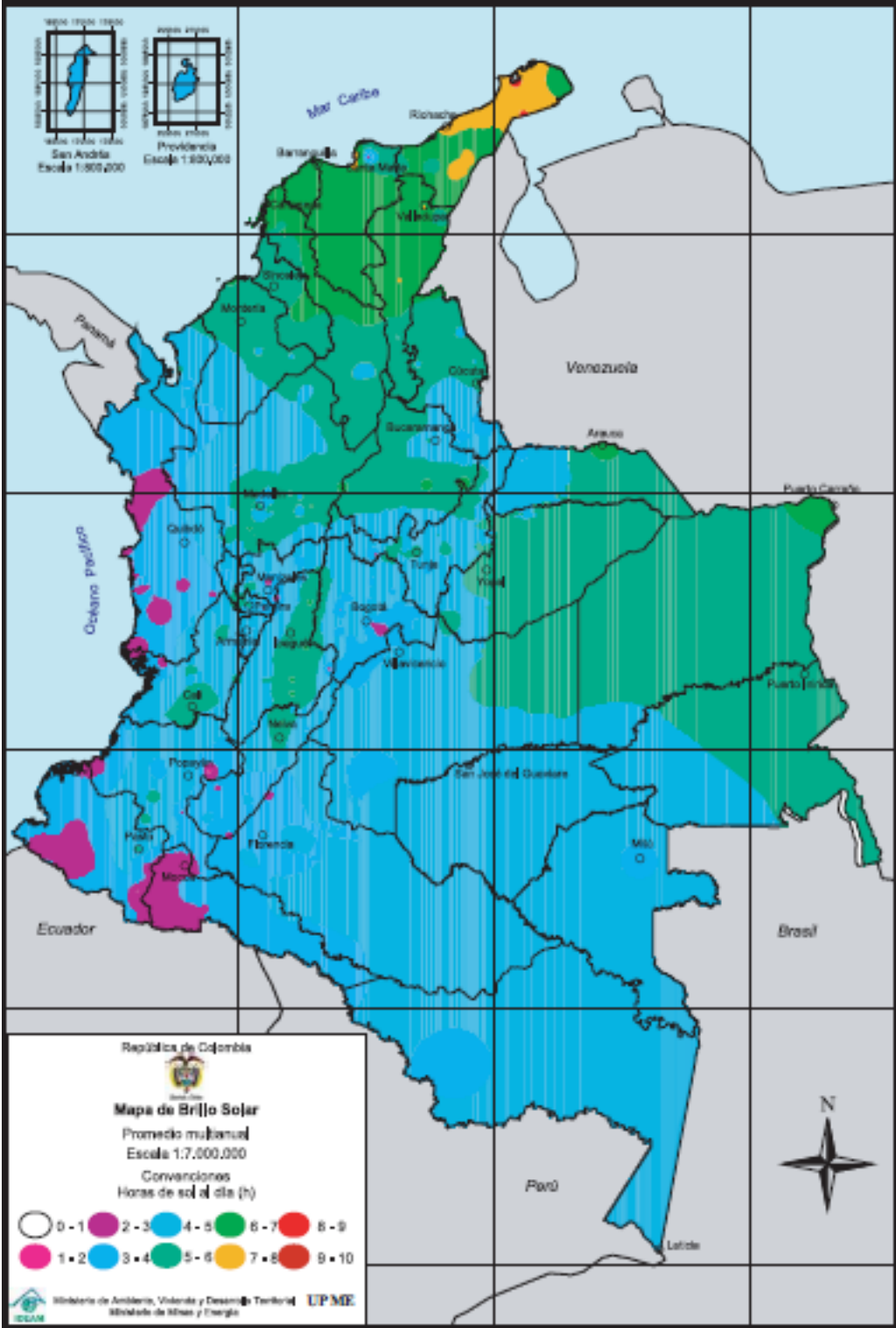


# Diagrama unifilar aula móvil 2



# ANEXO 3

## MAPA BRILLO SOLAR



## ANEXO 4

# Calculo de refrigeración Aula móvil: 1

Franco Medina Barraza,  
José Colonna Pertuz  
Universidad de la costa

*Resumen*—en este artículo se mostraran los cálculos realizados para la refrigeración efectiva del aula móvil, así como la metodología empleada para dicho cálculo.

*Índice de Términos*—refrigeración, radiación directa, radiación indirecta, proceso termodinámico

## INTRODUCCIÓN

la refrigeración es un proceso termodinámico, donde se extrae el calor de un cuerpo o espacio (bajando así su temperatura) y llevarlo a otro lugar donde no es importante su efecto. Los fluidos utilizados para extraer la energía cinética promedio del espacio o cuerpo a ser enfriado, son llamados refrigerantes, los cuales tienen la propiedad de evaporarse a bajas temperaturas y presiones positivas.

## ANÁLISIS

En la actualidad existen muchas herramientas informáticas para el cálculo de cargas térmicas y selección de aire acondicionado, todas estas aplicaciones, son realizadas para instalaciones fijas.



Nuestra instalación no es fija, se trata de un aula móvil que se mueve y puede estar ubicada en cualquier punto cardinal de diferente manera hacia el sol (vertical u horizontal), lo que no lleva a realizar un análisis más complejo para realizar un buen cálculo de refrigeración.

Para los cálculos nos basamos, en una plantilla en Excel, diseñada para instalaciones fijas (oficinas, bibliotecas, residencias, etc.), pero teniendo en cuenta las posiciones en las que se puede ubicar el aula móvil.

La plantilla en Excel para el cálculo de refrigeración, tiene en cuenta múltiples variables como son:

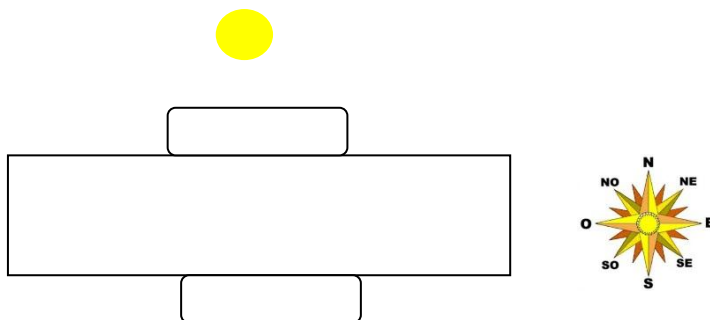
Radiación directa sobre las ventanas (teniendo en cuenta la posición y ubicación cardinal)

- Radiación indirecta sobre ventanas.
- Número de personas dentro del lugar
- Aporte de los electrodomésticos. Entre otros.

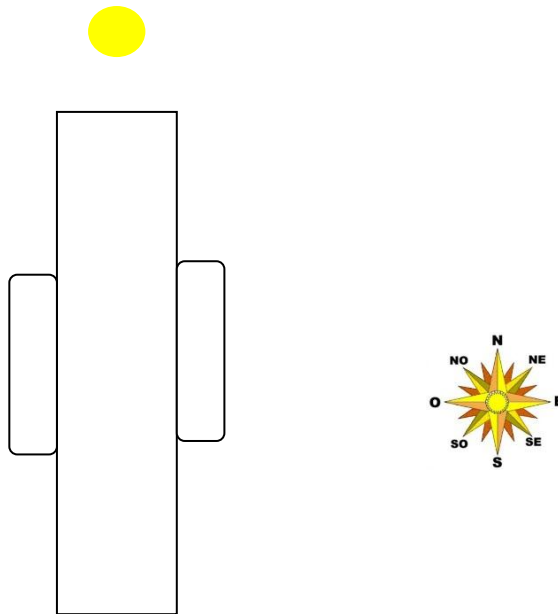
La variable que debemos analizar es la primera, osea la radiación directa sobre las ventanas, pues esta tiene en cuenta la ubicación, y como este cálculo de refrigeración es para un aula móvil, la cual la ubicación puede variar significativamente.

Ahora teniendo en cuenta la ubicación del sol el aula móvil puede estar ubicada de dos formas:

Forma 1:



Forma 2:



Teniendo en cuenta estas dos formas de ubicación y el movimiento del sol durante el día, analizaremos para cada posición, y diferentes horas del día.

A continuación observaremos la plantilla en Excel utilizada para el cálculo esta plantilla consta de tablas con índices que ya han sido científicamente comprobados.

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	135	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

Tabla 26: radiación directa sobre ventanas.

Esta es la tabla que más afecta nuestro, análisis pues, dependiendo de la ubicación del bus así, estarán las ventanas expuestas o no a la radiación directa del sol, proveniente del lado cardinal correspondiente.

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin proteccion	20	45	900
Ventanas con proteccion	0	22,5	0

Tabla 27: transmisión sobre las ventanas sin el contacto directo con la radiación

La tabla 2 tiene en cuenta las ventanas que se encuentra en la sombra es decir las que no tienen un contacto directo con el sol.

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
PAREDES			
Exterior de 30 cm	48	12	576
Tabiques interiores		18	0

Tabla 28: transmisión sobre paredes

La tabla 3 toma en cuenta el área de las paredes que están expuestas a la radiación.

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
TECHOS			
Exteriores	24	35	840
Con camara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

tabla 29: transmisión sobre techos.

La tabla 4 hace referencia al área del techo que recibe la radiación solar.

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
SUELOS EDIFICADOS			
Solo edificados	30	6	180

Tabla 30: transmisión sobre techos.

En refrigeración el suelo se ve como una carga térmica pues es sistemas de A.A tiende a enfriarlo. La tabla 5 hace referencia a los metros cuadrados del piso que tiene el lugar a refrigerar.

MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomésticos, computadores, etc.	986	0,86	847,96
Luces fluorescentes	0	1,07	0

Tabla 31: aporte calor sensible.

La tabla 6, hace referencia al aporte de calor en la que contribuyen los elementos electrónicos o eléctricos que se encuentran dentro de lugar refrigerar.

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	100	2000
Bares, restaurantes, etc.	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

Tabla 32: número de personas.

La tabla 7. Es una de las más importantes porque nos suministra el dato de calor por persona, teniendo en cuenta el número de ellas y la actividad que realizan.

Estas son las tablas que se utilizaron para nuestro cálculo a continuación se adjuntaran las tablas con los cálculos realizados.

## SECCIÓN DE TABLAS

Forma 1:

Posición del sol: norte

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	135	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	5	125	75	50	250
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin proteccion	5	45	225
Ventanas con proteccion	0	22,5	0

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
PAREDES			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores		18	0

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
TECHOS			
Exteriores	20	35	700
Con camara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
SUELOS EDIFICADOS			
Solo edificados	20	6	120

MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes, etc.	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 4440,4 Kca.Y expresada en BTU es de **17761,6 BTU**.

Forma 1:

**Posición del sol: este.**

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	135	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin proteccion	5	45	225
Ventanas con proteccion	0	22,5	0

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
<b>PAREDES</b>			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores		18	0

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
<b>TECHOS</b>			
Exteriores	20	35	700
Con camara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO R	CARGA (Kcal/h)
<b>SUELOS EDIFICADOS</b>			
Solo edificados	20	6	120

MEDIDA DEL APOORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes, etc.	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 4190,4 Kca. Y expresada en BTU es de **16761,6 BTU**.

Forma 1:

**Posición del sol: sur**

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	5	187	110	55	275
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	135	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin proteccion	5	45	225
Ventanas con proteccion	0	22,5	0

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>PAREDES</b>			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores	0	18	0

<b>TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (m2)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADOR</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
<b>TECHOS</b>			
Exteriores	20	35	700
Con camara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

<b>TRANSMISIÓN SOBRE SUELO</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (m2)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADOR</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
<b>SUELOS EDIFICADOS</b>			
Solo edificados	20	6	120

<b>MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (W)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADOR</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

<b>OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (# de personas)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADOR</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes, etc.	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 4465,4 Kca. Y expresada en BTU es de **17861,6 BTU**.



Forma 1:

Posición del sol: oeste.

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente		275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	135	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin proteccion	0	45	0
Ventanas con proteccion	5	22,5	112,5

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
PAREDES			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores		18	0

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
TECHOS			
Exteriores	20	35	700
Con camara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
SUELOS EDIFICADOS			
Solo edificados	20	6	120

MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes, etc.	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 3265,4 Kca. Y expresada en BTU es de **13061,6 BTU**.

Forma 2:

**Posición del sol: sur**

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	5	187	110	55	275
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	135	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin proteccion	0	45	0
Ventanas con proteccion	5	22,5	112,5

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>PAREDES</b>			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores	0	18	0

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>TECHOS</b>			
Exteriores	20	35	700
Con camara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>SUELOS EDIFICADOS</b>			
Solo edificados	20	6	120

MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes, etc.	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 3265,4 Kca. Y expresada en BTU es de **13061,6 BTU**.

Forma 2:

**Posición del sol: oeste.**

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	5	444	265	120	600
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin protección	0	45	0
Ventanas con protección	5	22,5	112,5

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>PAREDES</b>			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores		18	0

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>TECHOS</b>			
Exteriores	20	35	700
Con camara de a	0	15	0
Interiores	0	7	0

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>SUELOS EDIFICADOS</b>			
Solo edificados	20	6	120

MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 4565,4 Kca. Y expresada en BTU es de **18261,6** BTU.

Forma 2:

Posición del sol: norte

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m <sup>2</sup> )	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	0	275	165	85	0
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	120	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m <sup>2</sup> )	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin protección	5	45	225
Ventanas con protección	0	22,5	0

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m <sup>2</sup> )	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>PAREDES</b>			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores		18	0

TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m <sup>2</sup> )	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>TECHOS</b>			
Exteriores	20	35	700
Con cámara de aire	0	15	0
Interiores	0	7	0

TRANSMISIÓN SOBRE SUELO			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m <sup>2</sup> )	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>SUELOS EDIFICADOS</b>			
Solo edificadas	20	6	120

MEDIDA DEL APOORTE DE CALOR SENSIBLE			
CONCEPTO	COEFICIENTE (W)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	986	0,86	847,96
Luces fluorescentes	0	1,07	0

OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS			
CONCEPTO	COEFICIENTE (# de personas)	FACTOR MULTIPLICADOR	CARGA (Kcal/h)
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 4272,96Kca. Y expresada en BTU es de **17091,84** BTU.

Forma 2:

**Posición del sol: este.**

RADIACION DIRECTA SOBRE VENTANAS					
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADOR			CARGA (Kcal/h)
		CRISTAL SIN PROTECCION	PROTECC. INTERIOR (CORTINA O PERSIANA)	PROTECC. EXTERIOR (PERSINA O TOLDO)	
Oriente	5	275	165	85	425
Sur oriente	0	250	150	75	0
Sur	0	187	110	55	0
Sur occidente	0	339	200	100	0
Occidente	0	444	265	120	0
Nor occidente	0	344	200	100	0
Norte	0	125	75	50	0
Nor oriente	0	200	120	70	0

TRANSMISIÓN SOBRE LAS VENTANAS SIN EL CONTACTO DIRECTO CON LA RADIACIÓN			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO	CARGA (Kcal/h)
Ventanas sin protección	0	45	0
Ventanas con protección	5	22,5	112,5

TRANSMISIÓN SOBRE PAREDES			
CONCEPTO	COEFICIENTE (m2)	FACTOR MULTIPLICADO	CARGA (Kcal/h)
<b>PAREDES</b>			
Exterior de 30 cm	10	12	120
Tabiques interiores		18	0

<b>TRANSMISIÓN SOBRE TECHOS</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (m<sup>2</sup>)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADO</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
<b>TECHOS</b>			
Exteriores	20	35	700
Con camara de a	0	15	0
Interiores	0	7	0

<b>TRANSMISIÓN SOBRE SUELO</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (m<sup>2</sup>)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADO</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
<b>SUELOS EDIFICADOS</b>			
Solo edificados	20	6	120

<b>MEDIDA DEL APORTE DE CALOR SENSIBLE</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (W)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADO</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
Incandescentes, electrodomesticos, computadores, etc.	890	0,86	765,4
Luces fluorescentes	0	1,07	0

<b>OCUPACION O NUMERO DE PERSONAS</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>COEFICIENTE (# de personas)</b>	<b>FACTOR MULTIPLICADO</b>	<b>CARGA (Kcal/h)</b>
<b>OCUPACION</b>			
Viviendas u oficinas	20	113	2260
Bares, restaurantes	0	198	0
Discotecas; gimnasios (actividad interna)	0	214	0

En total, para esta posición, la carga térmica en Kcal es de: 4502,96Kca. Y expresada en BTU es de **17561,384** BTU.

## **CONCLUSIÓN.**

Para el aula móvil objeto de la tesis la refrigeración efectiva, debe superar una carga térmica de 4565,4 Kca. lo cual se logra con un equipo de 18000 BTU.

Actualmente el aula se encuentra, sobredimensionada en este aspecto, pues al equipo de refrigeración instalado es de 24000 BTU, lo cual lleva a un consumo energético innecesario, pues como se mencionó y basados en los cálculos con equipo de 18000 BTU se cubre toda la carga térmica.

Realizar este cambio, reducirá en gran proporción el consumo, lo que conlleva a la utilización de menos paneles.



# Medición de ruido

## Aula móvil: 1

Franco Medina Barraza,  
José Colonna Pertuz  
Universidad de la costa

*Resumen*—en este artículo se mostraran las mediciones de ruido realizadas al aula móvil 1 mientras trabajaba con la planta de generación a diesel.

*Índice de Términos*—decibeles, ruido, sonómetro.

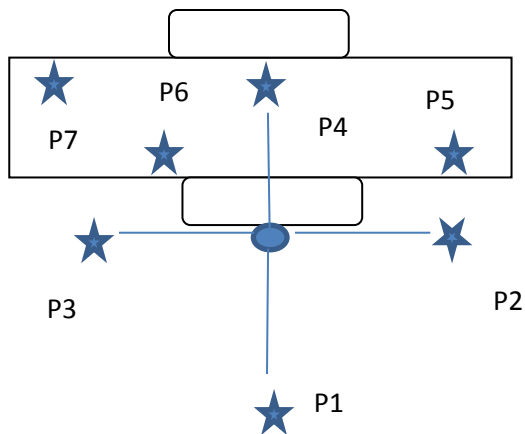
### INTRODUCCIÓN

El sonido es una vibración del aire que se propaga en forma de ondas a través del espacio. Está caracterizado primariamente por una frecuencia y por una intensidad. La frecuencia es la cantidad de vibraciones en cada segundo, expresada en Hertz [Hz] Y se relaciona con la altura, es decir la sensación de grave (baja frecuencia) o agudo (alta frecuencia). La intensidad se relaciona con la sensación de menor o mayor sonoridad o volumen. Los sonidos simples o tonos puros contienen una sola frecuencia. Es el caso del diapasón de horquilla, utilizado para afinar instrumentos, o del silbido. Normalmente los sonidos que escuchamos, como las notas musicales o la voz humana, están compuestos por varios tonos puros.

## Metodología de medición

se realizó la medición alrededor de las 2 de la tarde del día sábado primero de junio, en el municipio de puerto Colombia, mientras se encontraba en operación el aula.

Se tomaron mediciones a 3m de distancia de la fuente sonora, en varias direcciones, hacia la derecha, hacia la izquierda, hacia el frente y hacia atrás como se muestra en la figura.



La estrella representa el lugar donde se tomaron las mediciones.

En cada posición, la medición tubo un tiempo de 3 minutos, se utilizó un sonómetro digital marca CEM de referencia DT-805, con el cual se hizo la recolección de datos.



la norma 627 de 2006, emitida por el medio ambiente, establece los límites de ruido permitidos para zona o ambientes de estudio, donde muestra que para ambientes de este tipo el ruido no debe superar los 65dB en el día y 50 dB por la noche.

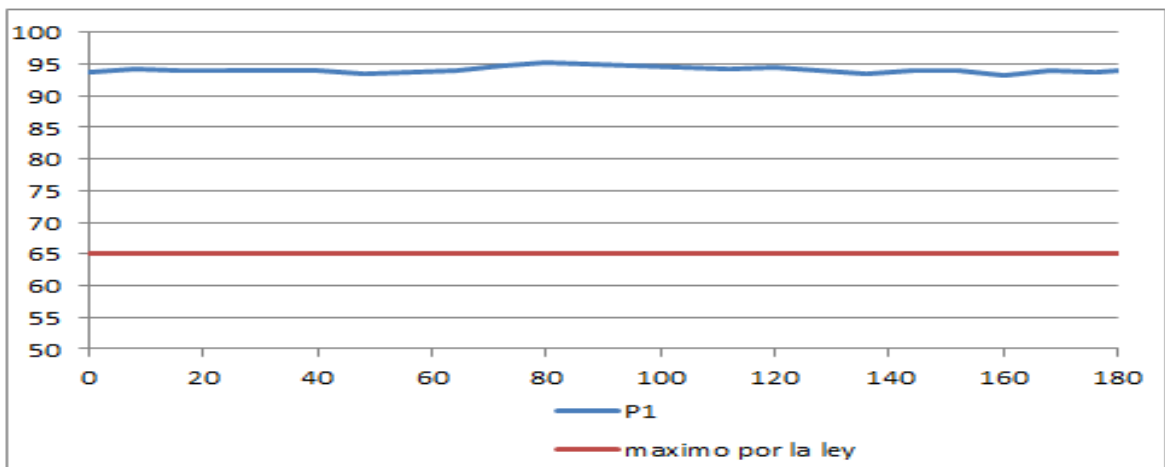
A continuación se muestran los datos obtenidos de la medición.

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
93,8	94,4	95,1	98,8	85	80,1	82,3
94,3	95,2	94,3	99	87,1	80,4	82,1
94,1	94,9	94,7	98	86,8	80,1	81,9
93,9	95,1	95,5	98,3	87	80,7	82,1
94	94,2	95,4	98,7	86,3	80,3	82,2
94,1	94,9	95,3	98,5	86,7	80	82
93,6	94,5	95,2	98,4	86,7	79,5	81,9
93,7	94,2	95,3	98,5	86,5	79,4	81
94,1	95,2	95	98,7	83,3	79,3	81,8
94,8	94,5	95,2	98,3	83,5	79,5	82,1
95,2	95,2	95,6	98,5	83,4	79,9	81,7
95	95,3	95,7	98,7	83,2	79,6	81
94,7	95,2	95,6	98,6	83,5	79,5	81,4
94,6	95,3	95,5	98,4	83,6	79,7	81,2
94,3	95,2	96,2	98,2	82,7	80	81,8
94,5	95,1	96,1	99	83,2	79,2	81,9
93,9	94,9	95,4	96,5	82,5	78,3	82,1
93,5	95,1	95,5	96	82,3	79,1	81,2
94	95,5	95,7	99,3	83,4	79,4	82,3

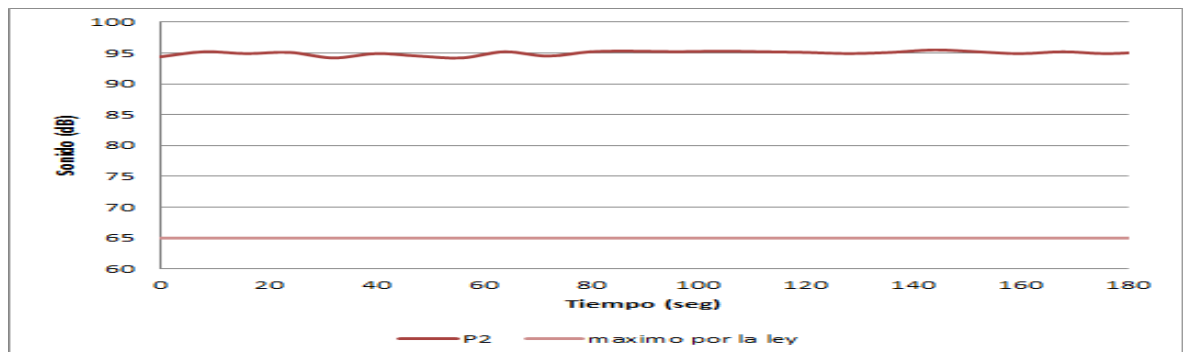
94,1	95,2	95,4	98,9	83,7	80	82,6
93,2	94,9	95,3	99	83,4	79,3	81,6
93,9	95,2	94,8	98,3	83,6	79,7	83,3
93,7	94,9	94,6	98,5	82,6	79,5	82,5
94,2	95,2	95,6	98,7	83,2	79	82,1
93	95,3	95	98,6	83,5	79,1	81,2

Graficas:

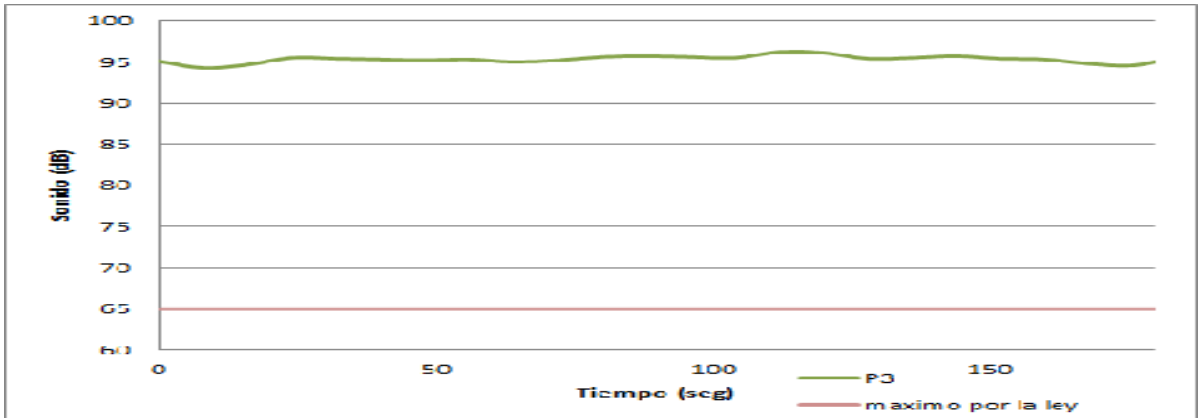
Posición 1:



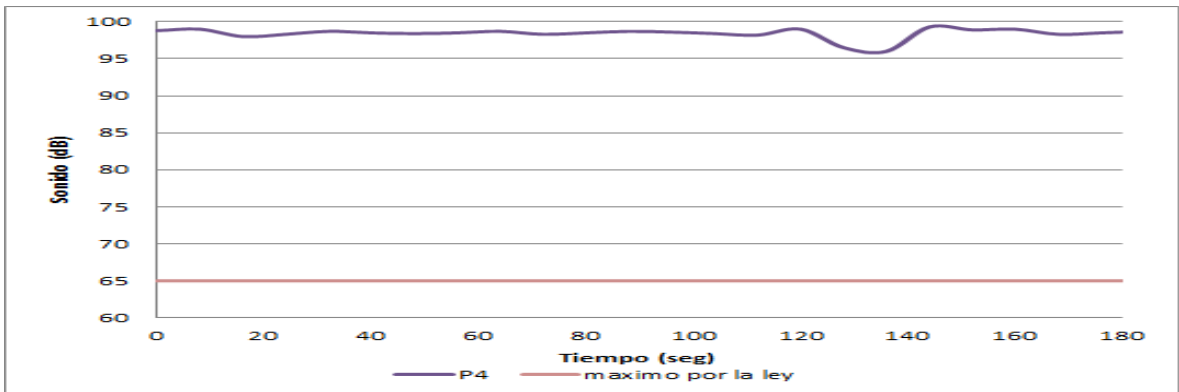
Posición 2:



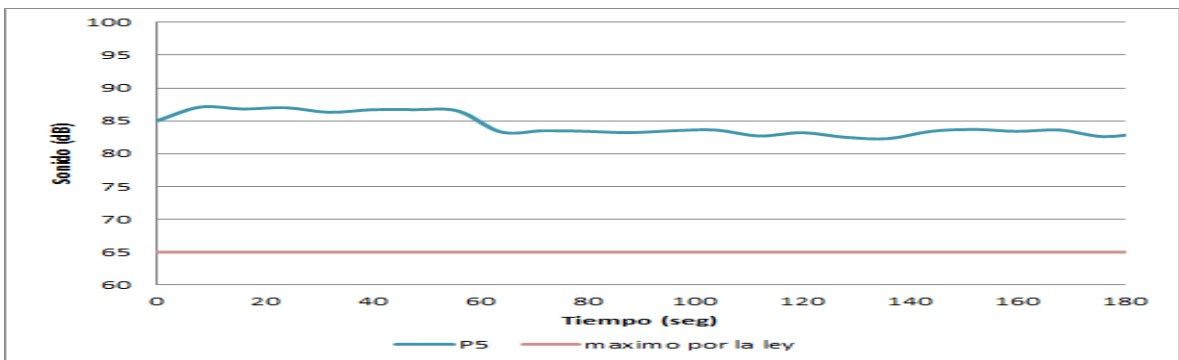
Posición 3:



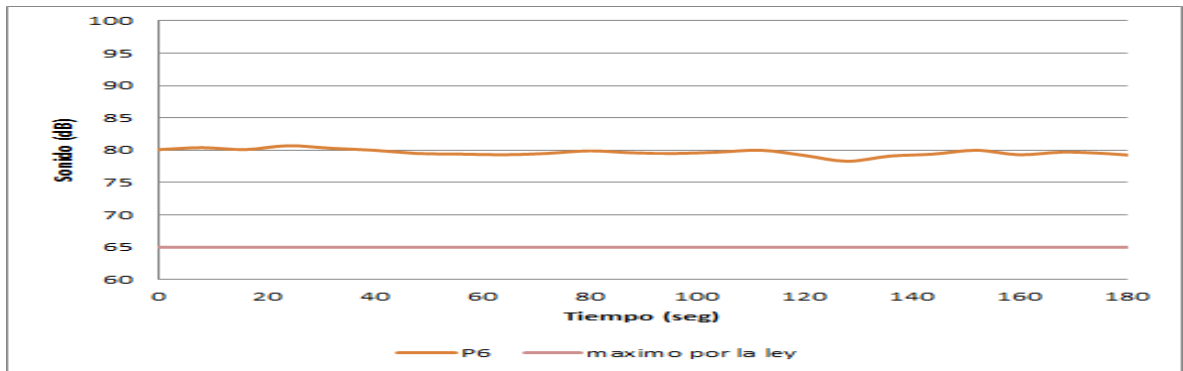
Posición 4:



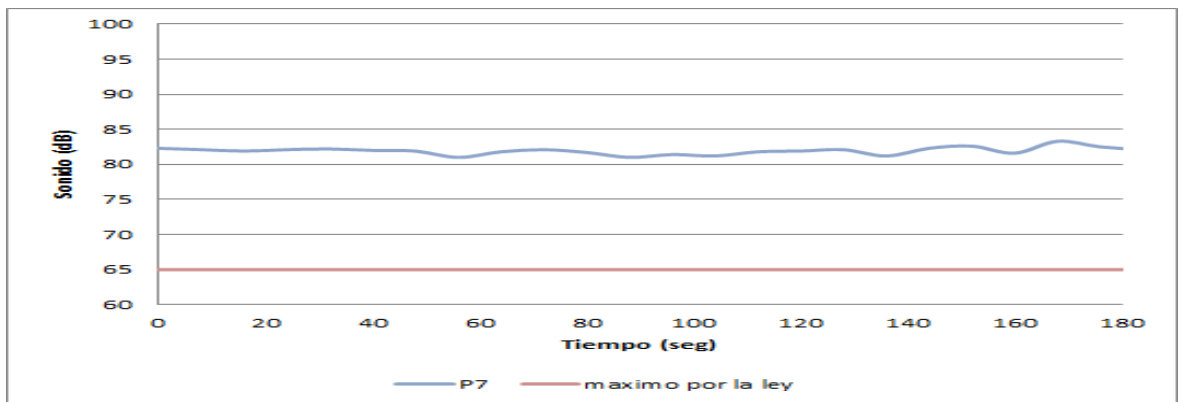
Posición 5:



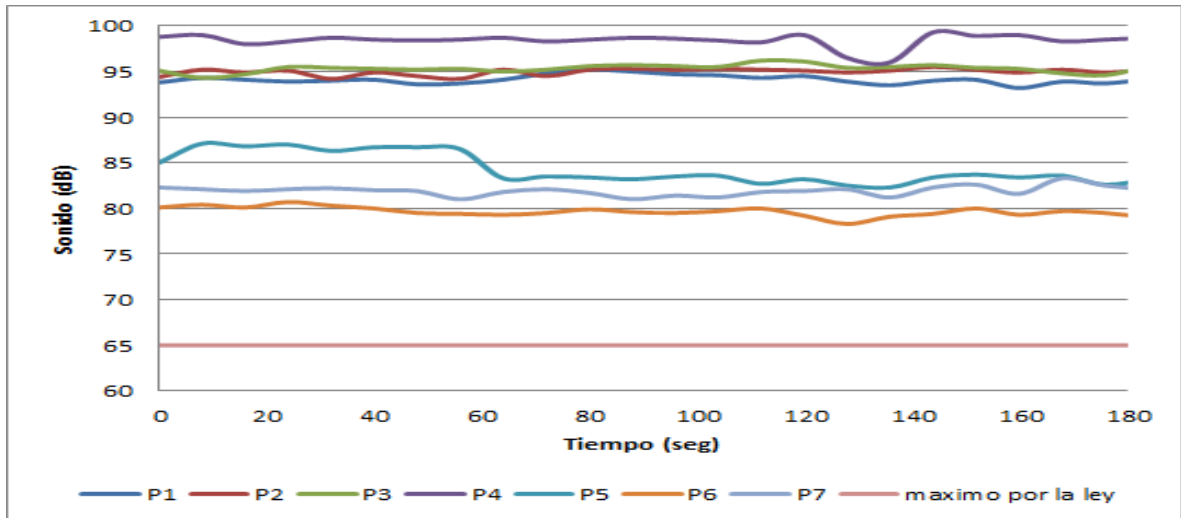
Posición 6:



Posición 7:



Grafica general con todas las mediciones:



## CONCLUSION

Todas las mediciones realizadas, superan lo establecido por la norma, incluso la medición más baja no es menor a 75 dB, es decir que cuando la planta genera menos ruido, lo hace muy por encima de 65dB.

El ruido que genera la planta esta elevado que los aprendices se le hace difícil escuchar la vos del tutor.

Bajo estas condiciones el nivel de perturbación para los aprendices que reciben clases en esta aula, es bastante grande, por lo cual la concertación y la calidad educativa son deficientes.

