

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO  
ELÉCTRICO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ILUMINACIÓN Y  
TÉRMICA EN CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA CASA RURAL EN EL MUNICIPIO  
DE ICONONZO TOLIMA”

MARCOS ANTONIO FRANCO AVENDAÑO  
CÓDIGO 2000203017

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ, NOVIEMBRE 2017

TRABAJO DE GRADO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO  
ELÉCTRICO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ILUMINACIÓN Y  
TÉRMICA EN CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA CASA RURAL EN EL MUNICIPIO  
DE ICONONZO TOLIMA”

MARCOS ANTONIO FRANCO AVENDAÑO

DIRECTOR: LICENCIADO DIEGO FERNANDO QUIROGA

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ, NOVIEMBRE 2017

**NOTA DE ACEPTACIÓN** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**FIRMA DEL JURADO** \_\_\_\_\_

**FIRMA DEL JURADO** \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Dios quien me ha permitido cumplir un sueño profesional y personal, a mi hijo y mi familia quienes me han acompañado en este camino de muchos sacrificios y retos.

También a mi asesor y jurados de tesis, a mis profesores, amigos y compañeros de carrera.

En general a todo este gran equipo de trabajo que siempre creyó y me dio su luz y apoyo incondicional.

	<b>FORMATO</b>
<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 4

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Diseño e implementación de un sistema alterno de suministro eléctrico mediante energía solar fotovoltaica en iluminación y térmica en calentamiento de agua en una casa rural en el municipio de Icononzo Tolima
<b>Autor(es)</b>	Franco Avendaño, Marcos Antonio
<b>Director</b>	Quiroga, Diego Fernando
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional. 2017. 104 p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, PANEL SOLAR, COLECTOR SOLAR, ENERGÍA LIMPIA.

<b>2. Descripción</b>
Este es un trabajo de tipo académico, que presenta el proceso llevado a cabo para el diseño y la implementación de un sistema alternativo de energía eléctrica y térmica a partir de energía solar, a base de paneles solares y un colector solar de placas planas. Se utilizó la metodología de Diseño Button-Up y Top Down

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Educación de calidad para la vida</small>	<b>FORMATO</b>
<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 4

<b>3. Fuentes</b>	
Alonso Abella, M.: "Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica". Ed. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L., ISBN: 84-86913-09-8	
Camargo Macías, Auber Alonso. Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables pet y análisis comparativo con otros colectores. Pereira Colombia.2013	
Gálviz Garzón, Jhon Sebastián; Gutiérrez Gallego, Robinson. "Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en Nazaret corregimiento del municipio de Uribia, departamento de la guajira – Colombia" (. Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 2014)	
IDAE. "Manuales de Energías Renovables / 6. Energía Solar Fotovoltaica", Ministerio de Industria, Comercio y Consumo, Madrid, 1992. ISBN 84-8036-052-6	
Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltaicas, Progensa, 1998.	
Pérez, Luis. "Manual para el cálculo de y diseño de calentadores solares". Cuba. 2008. ISBN 978-959-7113-36-2	
Rodríguez, Idaria Sabina. "Instalación Eléctrica con Fotovoltaica en Candelaria". España. Marzo 2017	
Toledo Arias, Carlos Alberto. "Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia". Cartagena-Colombia. 2013.	

<b>4. Contenidos</b>	
<p>Este trabajo comienza con un resumen, el cual brinda una mirada general de lo que el lector puede encontrar, luego continúa con la introducción que lo enfoca en el tipo de contenidos importantes del trabajo. De esta manera, surge el planteamiento del problema con su debida justificación, proponiendo unos objetivos claros y específicos. Durante el desarrollo del Marco referencial, su respectivo marco teórico, con la ubicación geográfica del proyecto y las bases de fondo de los contenidos tratados con detalle, el contexto nacional y mundial actual del uso y aprovechamiento de las energías alternativas, así como los parámetros de diseño que se requieren para los capítulos posteriores.</p>	

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Edadodiseño de educación</small>	<b>FORMATO</b>
<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 3 de 4</b>

Al lograr entrar en el diseño de los sistemas de energía solar expuestos, se despliegan las etapas y fases de desarrollo de cada uno de los sistemas abordados detalladamente.

Para evidenciar el funcionamiento y validar los sistemas, se hacen pruebas, tomando los respectivos datos y medidas.

Finalmente, se implementan los sistemas, se realizan las conclusiones y se proponen las ideas para trabajos futuros, dando continuidad a este tipo de proyectos académicos.

## 5. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se aplicaron las metodologías Bottom-Up y Top Down, que permiten agrupar componentes en diferentes módulos, y éstos últimos a su vez en otros hasta llegar a representar el sistema completo que se desea implementar, y en el segundo diseño poder partir de un modelo inicial y validar su producto final mediante varias fases de pruebas

## 6. Conclusiones

- Ambos sistemas térmico y fotovoltaico han mejorado la calidad de vida de los habitantes de la casa rural y han optimizado los recursos, haciendo uso de energías renovables, protegiendo el medio ambiente y un ahorro considerable en el caso del colector solar, evitando el uso de una ducha eléctrica que eleva el costo del recibo de luz
- El sistema de almacenamiento del temo-tanque es suficiente para el baño de 3 personas durante aproximadamente 2 días de autonomía.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Educación de calidad para la vida</small>	<b>FORMATO</b>
<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 4

- En el diseño del colector solar, se tuvo en cuenta tanto la ley de transferencia de calor, así como la ley de Boltzman que trata de la radiación en cuerpos negros, de esta manera se logró vislumbrar realmente el buen efecto y mayor radiación solar en las superficies negras, permitiendo una mejor conservación de la energía, aludiendo a la primera ley de la termodinámica. Es recomendable aplicar esmalte negro opaco en la superficie del cajón del colector y brillante a las botellas, mejorando el nivel de calor en el colector.
- En el diseño e implementación de los sensores se creyó pertinente uno de aplausos y uno a control remoto, debido a la mala ubicación de una luminaria del interruptor convencional, para practicidad y facilidad del usuario; estos sensores fueron rediseñados teniendo en cuenta alguna teoría básica y prototipos vistos en el mercado y en la red. Fue necesario primeramente la calibración del micrófono con un circuito sensor de audio y posteriormente si el montaje completo de las etapas del sensor de aplausos. Se encontró conveniente que para la temporización se requirió adicionar un CD4017, contador decimal para garantizar la activación por uno o varios pulsos, en este caso aplausos, dependiendo de las conexiones entre el reset y el pin de activación se logran estas modificaciones.

<b>Elaborado por:</b>	Franco Avendaño, Marcos Antonio.	
<b>Revisado por:</b>	Quiroga, Diego Fernando	

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	29	11	2017
--	----	----	------

**Tabla de contenido**

AGRADECIMIENTOS .....	2
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, PANEL SOLAR, COLECTOR SOLAR, ENERGÍA LIMPIA .....	3
Palabras clave: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, panel solar, colector solar, energía limpia.....	11
ABSTRACT .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
2. JUSTIFICACIÓN .....	15
Energía convencional (Enertolima).....	16
Energía alternativa (Solar) .....	16
3. ALCANCES Y DELIMITACIONES DEL PROYECTO .....	17
4. OBJETIVOS .....	20
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	20
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
5. MARCO REFERENCIAL .....	22
5.1 Marco Teórico .....	22
5.1.2 Breve Historia de la Energía Solar Fotovoltaica .....	22
5.1.3 Energía Solar Fotovoltaica en la actualidad.....	23
5.1.4 Energía Solar en Colombia .....	26

5.1.6 Irradiación solar .....	28
6. COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	30
6.1 PANELES SOLARES .....	30
6.2 BATERÍAS .....	30
6.3 REGULADOR DE CARGA.....	31
6.4 INVERSOR.....	31
Esquema General de un sistema fotovoltaico .....	33
7. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA TÉRMICO .....	36
7.1 TRANSFERENCIA DE CALOR .....	36
7.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN .....	36
7.3 COLECTOR SOLAR DE PLACAS PLANAS .....	38
7.3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO .....	40
7.3.2 Lista de materiales.....	41
8. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	47
8.1 DATOS TECNICOS .....	49
8.1.1 Días lluvia dpto. Tolima.....	49
Datos Ideam .....	49
8.1.2 Temperaturas Tolima .....	50
8.1.3 Clasificación climática Tolima .....	51
9.1 CÁLCULOS DISEÑO INVERSOR .....	66

9.1.1 FILTRO LC DE SALIDA.....	68
9.1.2 Circuito de aislamiento Etapa Digital y de Potencia.....	69
9.1.3 Circuito del driver de los Mosfet IRF840 .....	70
9.1.4 Etapa de Potencia .....	71
9.2 Segundo prototipo inversor de 100watts.....	72
10. Diseño Sensores.....	74
10.1 Sensor de Aplausos .....	74
11. METODOLOGÍA .....	76
11.1 Diseño Bottom-Up .....	76
11.2 Diseño Top-Down.....	77
12. PREDISEÑO: .....	78
ENTRADAS: .....	78
SALIDAS:.....	78
Requerimientos del sistema.....	78
12.1 CIRCUIT DIAGRAM.....	79
12.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA .....	80
12.3 FASES SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	81
12.4 Estructura Fotovoltaica General.....	82
12.7 DIAGRAMAS DE ACTIVIDADES SISTEMA .....	85
12.8 REGULADOR DE CARGA.....	86

	10
12.9 INVERSOR.....	87
13. ENTREGABLES .....	88
14. CONCLUSIONES .....	89
15. TRABAJOS FUTUROS .....	91
16. REFERENCIAS .....	92
17. BIBLIOGRAFIA.....	94
ANEXOS.....	95
ANEXO A .....	95
CODIGO PIC 18F2550.....	95
ANEXO B .....	97
ANEXO C .....	100
GLOSARIO.....	102
Batería Solar:.....	102
Inversor: .....	102
Regulador solar: .....	102

## RESUMEN

El presente proyecto da a conocer una alternativa energética y eficiente al problema de abastecimiento de energía eléctrica, en una casa rural de la vereda Parroquia Vieja en el municipio de Icononzo Tolima, mediante el aprovechamiento de la energía solar en dos formas: fotovoltaica, a través de paneles solares para cubrir una carga de iluminación y térmica para el calentamiento de agua, implementando un colector solar de placas planas con cubierta.

En el desarrollo de cada uno de los sistemas fotovoltaico y térmico, se encontró que la ubicación geográfica de la zona de aplicación es apta, viable y propicia para la implementación y uso de estas energías renovables, limpias e inagotables.

**Palabras clave:** energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, panel solar, colector solar, energía limpia.

## ABSTRACT

This project offers and presents an efficient alternative energetic to the problem of supply of electrical energy, in a rural house, using solar energy in two ways: through photovoltaic solar panels to cover a load of lighting and heat for the heating of water, implementing a flat plate solar collector with cover.

During the development of the photovoltaic and thermal systems, it was found that the geographical location of the area of application is suitable, viable and conducive to the implementation and use of these renewable, clean and inexhaustible.

**Keywords:** photovoltaic solar energy, thermal solar energy, solar panel, solar collector, clean energy.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está orientado al aprovechamiento de la energía solar, como alternativa para el suministro de energía eléctrica en forma fotovoltaica para iluminación, y térmica para el calentamiento de agua en una casa rural del municipio de Icononzo Tolima. Esta propuesta tiene como objeto mejorar la calidad de vida de los habitantes de una casa rural en la vereda “Parroquia Vieja” del municipio Tolimense. Debido al insuficiente e ineficaz servicio que provee Enertolima, empresa de energía eléctrica del Tolima.

Los repentinos cortes, la falta de acceso y control a las comunidades rurales, el costo elevado del KW/h, por parte de esta empresa eléctrica y la contaminación del medio ambiente son algunos de los factores motivantes para el planteamiento de este proyecto.

Es notorio resaltar el impacto ambiental que generan la obtención de las principales fuentes de energía a nivel mundial como el petróleo, el carbón y el gas natural, el uso de combustibles, los cambios y efectos climáticos en la atmósfera.

Es por ello por lo que se buscan nuevas alternativas de producir energía a través de las fuentes inagotables, verdes, alternativas, renovables y presentes en el planeta, (Carlos, 2013)... “los sistemas de electrificación basados en el uso de fuentes de energías renovables son una opción adecuada para proporcionar electricidad a comunidades aisladas. Una instalación solar fotovoltaica autónoma o aislada es una fuente de alimentación independiente y es un recurso ideal y ecológico para estos lugares aislados y/o sin red eléctrica”, en particular la energía solar, objeto de estudio.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es evidente que el calentamiento global, los cambios climáticos, la ineficiencia energética y el uso irracional de la energía, son producto del mal uso de los recursos ambientales. Las principales fuentes de energía a nivel mundial son el petróleo, el carbón y el gas natural, pero la manera de producirlas y distribuirlas contribuye al excesivo uso de combustibles fósiles, genera el efecto invernadero, la emisión de Co<sub>2</sub> y la lluvia ácida. Es por ello por lo que se buscan energías renovables, limpias e inagotables que no contaminen y contribuyan a la protección del medio ambiente. Esta labor debe ser menester de todos, desde el Estado y la industria privada hasta la academia. El gobierno por su parte ya inició esta tarea, como lo señala la viceministra de Energía Rutty Paola Ortiz: “A través de las fuentes no convencionales de energía renovables, el país busca fortalecer el Sistema Interconectado Nacional de energía eléctrica, asegurando energía limpia y confiable para todos los usuarios del sistema” (Redacción Economía y Negocios, 2017).

En Colombia para algunos expertos como Carlos Yepes director del Centro de Ciencia y sensibilización Ambiental, la energía solar fotovoltaica<sup>1</sup> “Es la única alternativa para hacer frente y solucionar el calentamiento global y la contaminación atmosférica”. (Portafolio, 2017) . Esto lo manifestó en el evento que tuvo a cargo del 19 al 21 de mayo en el centro de convenciones Plaza Mayor, en Medellín, que contó con la participación de 140 representantes de los 15 países invitados a la feria, entre ellos Alemania, Portugal, Italia, España y Suiza.

---

1 La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores. Disponible en [http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que\\_es.php](http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php)

“En el país ya se han desarrollado proyectos con respecto a la utilización de la energía solar” (Rodríguez, 2008) y otros vienen en marcha como El proyecto Celsia Solar, ubicado en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, el cual suministrará energía a 8.000 viviendas y contará con 35.000 paneles que evitarán la emisión de unas 6.600 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. (El Espectador Redacción Bilbo: , 2017)

Estos proyectos de gran envergadura contaron con la financiación y respaldo de grandes empresas, pero **¿cómo aprovechar la energía solar fotovoltaica para proporcionar luz y calentar agua en una finca cualquiera?** Este proyecto plantea una solución viable a este problema, al analizar y evaluar la viabilidad de proporcionar las necesidades básicas de energía, aprovechando la energía solar en el municipio de Icononzo, Tolima. En dicha propuesta, se pretende fabricar un sistema térmico, mediante la creación de un colector solar y su tanque térmico con capacidad máxima para 200 litros de agua y una temperatura entre los 10-60 grados centígrados; este sistema es completamente aislado del sistema fotovoltaico, que es para iluminación, empleando sensores de movimiento, presencia, photoceldas, entre otros. Ambos sistemas completamente independientes, pero los dos aprovechan la energía solar para su funcionamiento.

## 2. JUSTIFICACIÓN

**¿Qué ventajas y beneficios traería diseñar un sistema alterno de suministro eléctrico, para iluminación, aprovechando la energía solar en forma fotovoltaica, y térmica para calentamiento de agua en el campo?**

Para responder este interrogante se plantea el diseño y la implementación de un proyecto piloto a pequeña escala de un sistema solar fotovoltaico y térmico, que supla esta necesidad en un caso específico en el municipio de Icononzo Tolima, para evaluar la viabilidad y pertinencia de este tipo de proyectos en el área rural colombiana.

Cabe anotar que en esta zona la energía eléctrica que provee Enertolima, empresa de energía del departamento, es muy inestable, hay muchos cortes de energía, la cobertura es escasa en el sector y existen muchas comunidades que no poseen servicio eléctrico. (El Nuevo día, 2016) Al ser consultado, Oscar Barreto, gobernador del Tolima, dijo: “Nosotros hemos expresado toda la disposición para hacer plan de pagos, es más, el plan ya se había acordado, ya se iba a empezar a pagar, pero a Enertolima le interesan más la plata y sus negocios privados que el servicio de la energía y tener unas buenas relaciones con la Gobernación”.

Por otro lado, el elevado costo de usar una ducha eléctrica tradicional y el impacto ambiental del excesivo uso de kilovatios por hora. Así pues, este proyecto plantea aprovechar la energía solar para suplir estas necesidades.

Este proyecto se presenta como pionero en la zona, ya que no se cuenta con ningún sistema de energías alternativas o renovables al ser un ejemplo que seguir por la comunidad, garantizando un mejor servicio eléctrico y mejorando la calidad de vida de la población de Icononzo Tolima.

En el caso de la energía convencional que provee Enertolima se pueden establecer algunas diferencias significativas al compararla con la energía solar:

*Tabla 1*

Energía convencional (Enertolima)	Energía alternativa (Solar)
<i>El costo depende del uso, pero en el sector el valor del KW/h es costoso.</i>	<i>Requiere de una inversión alta al principio, pero a futuro se convierte en una buena inversión.</i>
<i>No existe ahorro como tal.</i>	<i>Existe ahorro, al existir una opción alterna de suministro.</i>
<i>Al presentarse fallas ya sea por clima o racionamientos del sistema, no se tendría como suplir las necesidades básicas eléctricas.</i>	<i>Cuando no haya sol, se utilizará la almacenada en los acumuladores o baterías.</i>
<i>Las termoeléctricas contribuyen a la contaminación del medio ambiente</i>	<i>Se protege el medio ambiente al reducir la emisión de Co2 que daña la capa de ozono y genera el efecto invernadero</i>

Elaboración propia

### 3. ALCANCES Y DELIMITACIONES DEL PROYECTO

El proyecto pretende cubrir un sistema de baja potencia < 1Kw, mediante la implementación de paneles fotovoltaicos, aprovechando la energía solar. Esta energía, primeramente, será utilizada en iluminación con sensores de movimiento y una alarma de detección; una toma para pequeños aparatos y un sistema de colector solar para el calentamiento de agua. Dentro de las partes del sistema, se construirá el inversor de corriente, el colector solar y el tanque térmico. Todo el proyecto llevará su sistema de protección con puesta a tierra, Esto se aplicará en la finca “El portal de Marco Antonio” de la vereda parroquia vieja, en el municipio de Icononzo Tolima. En la parte de iluminación, se emplearán diferentes sensores, más que todo en la noche, con algunas photoceldas como interruptores automáticos; sensores de presencia, que al detectar una persona o movimiento se activen, utilizando solo la iluminación en los momentos adecuados y necesarios; sensores de activación aplausos o sonidos, dándole un sentido de control, aprovechamiento y uso racional de la energía, garantizando una eficiencia energética.

A medida que se acerca la luz, el voltaje disminuye y la luminaria se apaga, por cada uno de los sensores de movimiento y presencia tipo PIR.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Los detectores PIR (Passive Infrared) o Pasivo Infrarrojo, reaccionan sólo ante determinadas fuentes de energía tales como el calor del cuerpo humano o animales. Básicamente reciben la variación de las radiaciones infrarrojas del medio ambiente que cubre. Es llamado pasivo debido a que no emite radiaciones, sino que las recibe. Estos captan la presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo humano y el espacio alrededor. Disponible en <https://www.tecnoseguro.com/faqs/alarma/que-es-un-detector-de-movimiento-pasivo-o-pir.html>



Figura 1. Fuente: <http://www.domodesk.com/sensor-detector-de-movimiento-control-iluminacion-luz-pirlight>

En el caso del sistema térmico, se ha elegido el tipo de **colector solar de placa plana**, debido al rango de temperaturas que se pretenden alcanzar oscilan entre los 10-60 grados aproximadamente. Este tipo de colector se fabricará realizando pruebas y mejoras a los convencionalmente vistos en el mercado. La cantidad de agua a calentar será almacenada en el tanque térmico diseñado para una capacidad máxima de 200 litros, el tiempo de uso del agua caliente depende de la depositada en el tanque térmico, ya que con respecto a la cantidad de sol y de la temperatura a la cual fue expuesta el sistema, se almacenará en el tanque y dicha agua se podrá utilizar al otro día o en la noche. Se utilizarán tubos de PVC y manguera de polietileno negra, para la construcción de la placa de absorción por donde circulará el agua; también llevará un cubrimiento de botellas plásticas, pintadas con laca negra para mejorar la temperatura de calentamiento. Lo acompañan el aislamiento térmico hecho de madera y aserrín, la lámina reflectante en aluminio y tejas de zinc, y la cubierta protectora en vidrio templado que genera el efecto invernadero y garantiza una mejor temperatura.

A continuación, se muestra el prototipo del sistema de colector solar:

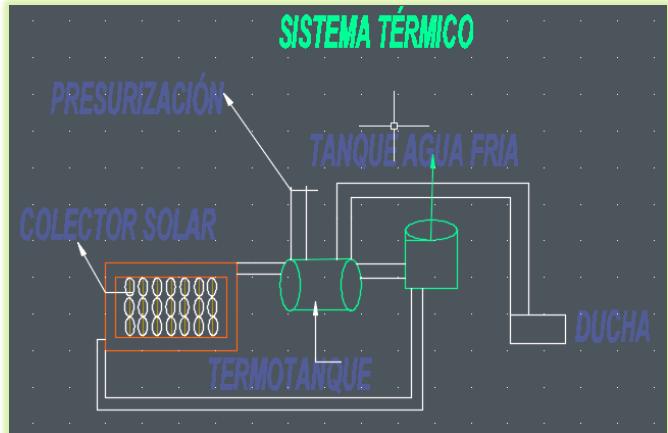


Figura 2. Elaboración Propia

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema alterno de suministro eléctrico, mediante la energía solar en forma fotovoltaica, a través de paneles solares, como prueba piloto en iluminación y térmica mediante un colector solar en calentamiento de agua, para evaluar la factibilidad del uso de energías renovables y limpias a pequeña escala, en una casa rural en Icononzo Tolima.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Identificar y determinar parámetros y componentes óptimos, para la producción de energía eléctrica y térmica a base de paneles solares.
- II. Diseñar y construir un inversor de corriente continua a corriente alterna, teniendo en cuenta el cuadro de cargas y la demanda máxima.
- III. Diseñar y fabricar un regulador de carga acorde al panel fotovoltaico y la capacidad de carga de las baterías.
- IV. Diseñar e implementar un sistema de iluminación automatizado (sensores de movimiento, alarmas) mediante energía fotovoltaica y su respectivo sistema de protección de puesta a tierra.

- V. Desarrollar un sistema térmico de calentamiento de agua, mediante el diseño e implementación de un colector solar y su respectivo termo tanque de 200 litros de capacidad máxima.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 Marco Teórico

#### 5.1.2 Breve Historia de la Energía Solar Fotovoltaica

Los primeros hallazgos fueron hechos por Alexandre Edmond Becquerel, quién descubrió el efecto fotovoltaico en el año de 1838, cuando trabajaba con una pila electrolítica de platino y se logró dar cuenta de que la corriente subía por uno de los electrodos de platino, al exponerse al sol. Luego de 39 años más de estudios, hacia 1877, el inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, en compañía de su alumno Richard Evans Day, crean la primera célula fotovoltaica de selenio. Casi un siglo más tuvo que transcurrir, hasta que Gerald Pearson de Laboratorios Bell, patentó la primera célula fotovoltaica en el año de 1953, cuando experimentaba con la electrónica del silicio, fabricó accidentalmente una célula fotovoltaica hecha en este material que resultaba más eficiente que cualquiera hecha de selenio. (<http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>)

Más adelante, las primeras aplicaciones de las células fotovoltaicas se observan en los satélites espaciales hacia 1958, cuando se lanza el Vanguard I, primer satélite alimentado con paneles solares. Así mismo, se fue convirtiendo en una excelente alternativa para el tema espacial, como se puede observar a continuación en la tabla.

## HITOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS EN SATÉLITES ESPACIALES

AÑO	PROYECTO ESPACIAL	POTENCIA DE SU INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
1958	Vanguard I	0,1 W
1962	Telstar	14 W
1964	Nimbus	470 W
1966	Observatorio Astronómico Espacial	1 KW
1973	Skylab	20 KW

Figura 3. Tomado de <http://www.sitiosolar.com/wp-content/uploads/2014/01/grafica.png>

En aplicaciones terrestres, se fueron dando avances inicialmente en instalaciones marítimas; esto hacia los años 70, gracias al Dr. Elliot Berman que con el apoyo financiero de EXXON<sup>3</sup> logró crear una célula solar bastante económica que reducía el coste por vatio de 100 a 20 dólares, utilizando silicio con menor grado de pureza y materiales encapsulantes más baratos.

Ya hacia los años 80, se realizan las primeras instalaciones solares en viviendas y zonas residenciales.

### 5.1.3 Energía Solar Fotovoltaica en la actualidad

Así como los elevados costos de los sistemas fotovoltaicos han venido descendiendo considerablemente, la capacidad instalada ha aumentado notoriamente. A continuación, se observa como a nivel mundial las energías renovables han tenido auge en especial la solar.

---

<sup>3</sup> era el nombre comercial de petróleo y los recursos naturales de empresa Exxon Corporation, antes de 1972 conocida como Standard Oil Company de Nueva Jersey. Tomado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Exxon>

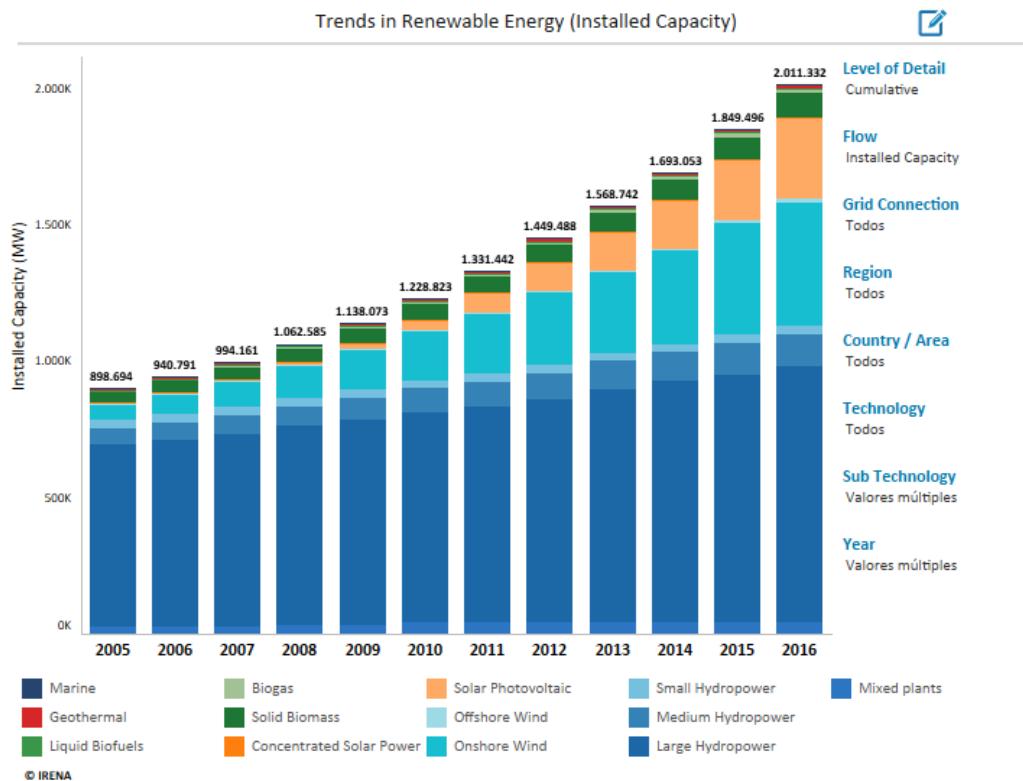


Figura 4. Fuente: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=16>

La capacidad instalada en megavatios ha venido creciendo exponencialmente.

Para el caso de las energías renovables con respecto a la generación eléctrica a nivel mundial

se observa:

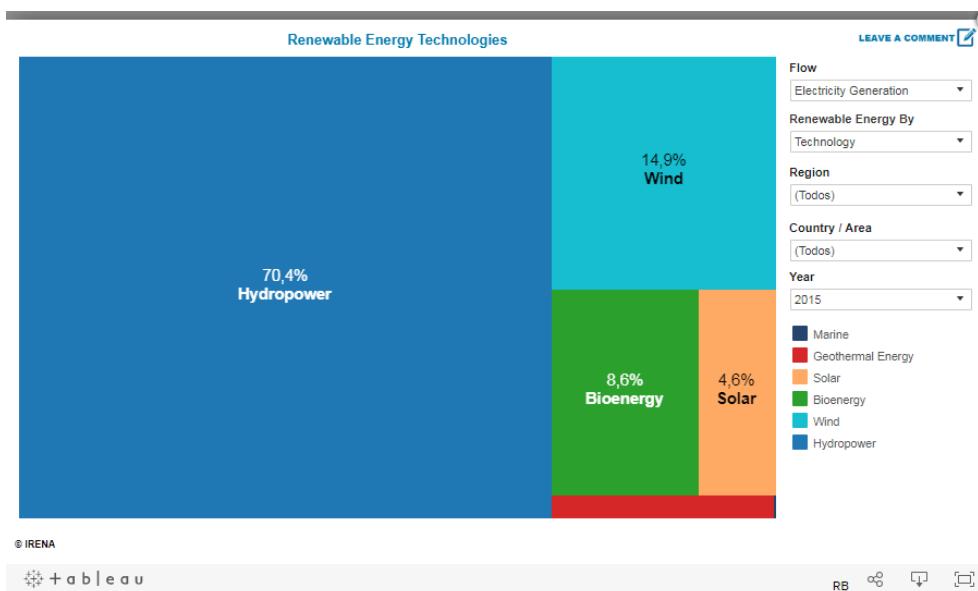


Figura 5. Tomado de <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=19>

Un 4.6% es un porcentaje significativo para el caso de la energía solar.

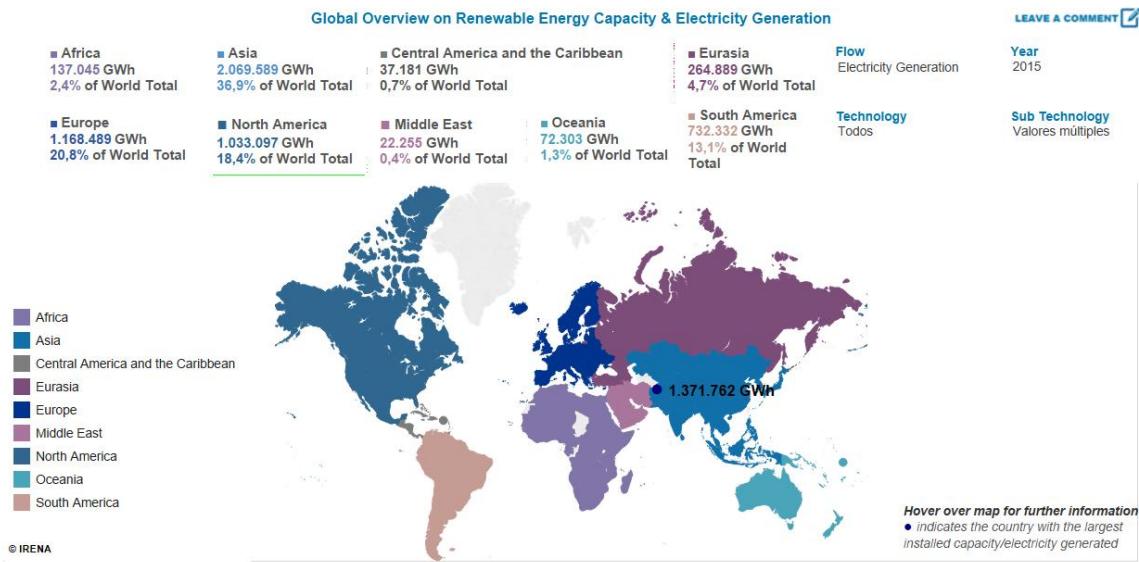


Figura 6. Disponible en <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=17>

En esta gráfica, se puede ver que China del continente asiático, es el país con mayor carga instalada y generación de energía eléctrica a través de energías renovables, con un valor de 1.371.762 GWh (Giga vatios hora), que es el 36.9% de toda la energía generada en el mundo; para el caso de Sur América con un 13.1% del total de energía generada en el mundo, Brasil es el mayor generador de energía eléctrica con un valor de 430.489,72GWh y en el caso de Colombia, con una cifra de 46.131GWh.

Los cambios en la energía solar son significativos. Según datos de IRENA y [Solar Power Europe \(SPE\)](#), para el año 2019 se espera que la capacidad acumulada de energía solar sea de 540.000 megavatios (en un alto escenario). **Esto supone un 135% más de lo que hay instalado**

**actualmente.** (<https://www.xataka.com/energia/los-11-graficos-que-demuestran-que-lo-de-la-energia-solar-es-imparable>, 2017)

### Proyección de energía solar acumulada para 2019

Medida utilizada en megavatios (mw)

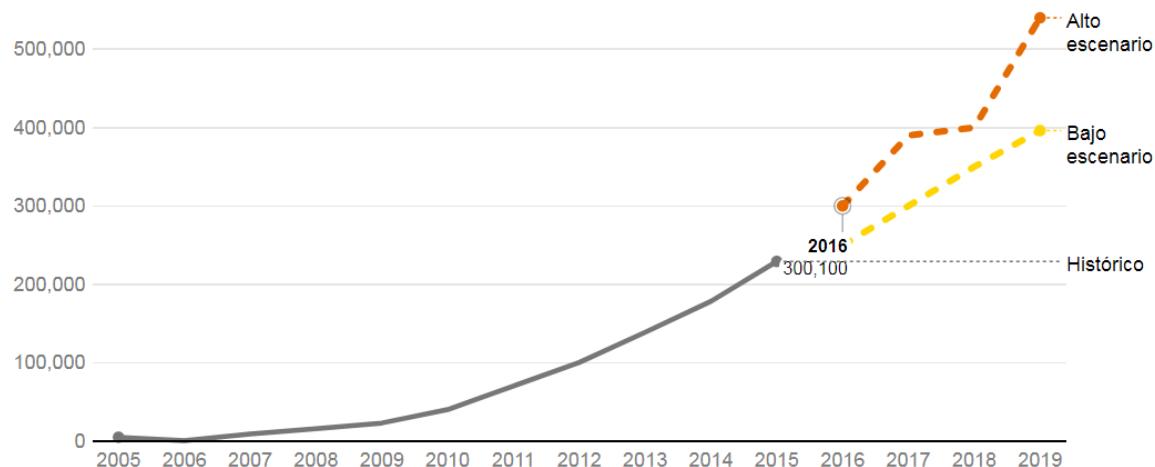


Figura 7. Fuente: <https://www.xataka.com/energia/los-11-graficos-que-demuestran-que-lo-de-la-energia-solar-es-imparable>

#### 5.1.4 Energía Solar en Colombia

Colombia, posee abundante carbón y potencial hidroeléctrico, recursos eólicos muy importantes, pero limitadas reservas de gas y algunas reservas de crudo. Cómo hacer un uso racional de estos recursos es un tema estratégico clave que el país necesita resolver en el contexto del cambio climático y de los tratados multilaterales encaminados a frenar los gases de efecto invernadero. Carlos (2013) explica:

La reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la diversificación del mercado con el fin de minimizar el riesgo de falta de suministro, junto con las preocupaciones sobre la reducción de los impactos negativos del consumo de energía, han hecho de las energías renovables en Colombia una alternativa atractiva. Además, las posibilidades de producción de energía cerca de los centros de consumo y el suministro inadecuado de energía en las zonas remotas y rurales hacen también que las energías renovables sean una opción tecnológica interesante y prometedora. (Carlos, 2013)

Los sistemas de electrificación basados en el uso de fuentes de energías renovables son una opción adecuada para proporcionar electricidad a comunidades aisladas. Una instalación solar fotovoltaica autónoma o aislada es una fuente de alimentación independiente y es un recurso ideal y ecológico para estos lugares aislados y/o sin red eléctrica. (Carlos, 2013)

La energía solar fotovoltaica, es una de las mejores opciones cuando se habla de aprovechamiento de la energía solar. El profesor M. Green estudió los posibles costos de producción de módulos fotovoltaicos por unidad de superficie y la eficiencia de conversión de cada tecnología, los resultados se muestran en la Figura 1 (M.A, Green.2001).

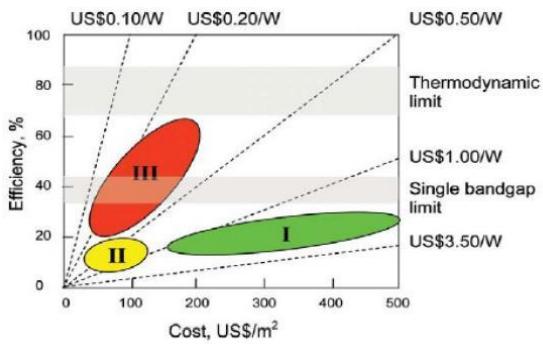


Figura 8

Figura 8 Fuente: [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf)

**5.1.5 Potencial solar:** Colombia posee un valioso potencial energético solar a lo largo de todo el territorio nacional, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kW/m<sup>2</sup>. Las mejores regiones son las costeras atlántica y pacífica, exactamente en la Guajira, mostrando resultados de un potencial solar promedio diario de 6,0 kW/m<sup>2</sup>, el mayor del país. (U. IDEAM, 2010).

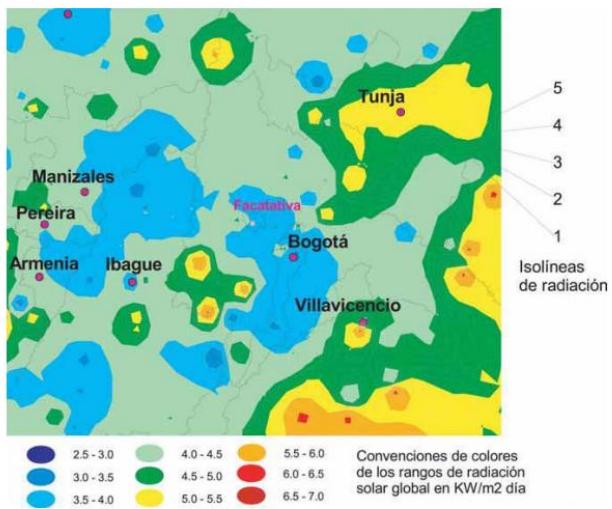
Región	Radiación Solar (kW/m <sup>2</sup> /año)
Guajira	1980 - 2340
Costa Atlántica	1260 - 2340
Orinoquia	1440 - 2160
Amazonia	1440 - 1800
Andina	1080 - 1620
Costa Pacífica	1080 - 1440

→ Esta es la zona de trabajo

Tabla 2. Fuente: Toledo Arias, Carlos Alberto.2013 Pág. 7

**5.1.6 Irradiación solar:** Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m<sup>2</sup>.

Atlas de Radiación Solar de Colombia

Figura 9 Fuente: [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf)

La ley 1715 de mayo de 2014 que fue aprobada en Colombia, busca promover el uso de energías renovables en el país. El punto de partida del marco legal para las energías renovables en Colombia está en las leyes: Ley 143 de 1994, Ley 164 de 1994, Ley 143 de 1994, Ley 629 de 2000, Ley 697 de 2001, Decreto 3683 de 2003, Decreto 139 de 2005.

## 6. COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 6.1 PANELES SOLARES

Están constituidos por células fotovoltaicas capaces de captar la energía solar y por medio de la excitación de los fotones del material semiconductor (silicio), liberan electrones de los átomos de silicio, creando dos cargas una positiva (p) y una negativa(n), que convierten la energía en forma de corriente eléctrica continua.

### 6.2 BATERÍAS

También llamada acumulador eléctrico es encargada de almacenar la energía captada durante la irradiación solar. Entre los tipos más utilizados se encuentran:

- *Baterías de Gel:* En la cual el ácido que contiene está en forma de gel, impide que se pierda líquido. Otras ventajas de este tipo de batería son; funcionan en cualquier posición, se reduce la corrosión, son resistente a temperaturas bajas y su vida útil es mayor que en las baterías líquidas. Entre algunas de las desventajas de este tipo de batería está que son muy delicadas para cargar y su alto precio.<sup>4</sup>
- *Baterías tipo AGM:* En inglés-Absorbed Glass Mat- en español Separador de Vidrio Absorbente, cuentan con una malla de fibra de vidrio entre las placas de la batería, que sirve para contener el electrolito. Este tipo de batería son muy resistentes a bajas temperaturas, su eficiencia es de 95%, puede funcionar a alta corriente y en general tiene una buena relación costo por vida útil.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Tomado de <http://www.laguiasolar.com/tipos-de-baterias-solares/>

<sup>5</sup> Disponible en <http://www.laguiasolar.com/tipos-de-baterias-solares/>

Para el caso de este proyecto se escogió la batería tipo gel de 100A/h

### **6.3 REGULADOR DE CARGA**

Dispositivo encargado de controlar la tensión de salida de los paneles y la carga adecuada de las baterías que deben operar a 12V de voltaje máximo. Cuando las baterías están totalmente cargadas, el regulador desconecta el interruptor evitando sobrecargas en las baterías y cuando están descargadas activa el paso de corriente de carga desde los paneles solares.

En este caso se optó por un regulador de 20 A de corriente máxima, teniendo en cuenta que la salida de cada panel no supera los 10 A cada uno y se utilizarán dos de estas características.

**Modulación de anchura de pulso (PWM):** Este regulador funciona emitiendo pulsos de carga a la batería, los cuales, dependiendo del ancho del valle, así mismo es la carga de la batería. Mientras la batería aumenta su carga, el ancho de pulso disminuye. Estos reguladores son económicos y fiables. (González, 2014)

## 6.4 INVERSOR

Es el dispositivo capaz de convertir la corriente eléctrica continua proveniente de las baterías en energía eléctrica alterna necesaria para conectar diferentes cargas.

Dentro de las clases más empleadas se encuentran:

- **De onda cuadrada.** - Característica de algunos inversores económicos de baja potencia, aptos para la alimentación exclusiva de aparatos puramente resistivos, como elementos de iluminación y otros.<sup>6</sup>
- **De onda cuadrada modulada.** - También característica de inversores de baja potencia, pero con un espectro de posibles elementos de consumo más amplio que el tipo anterior, que incluye alumbrado, pequeños motores y equipos electrónicos no muy sensibles a la señal de alimentación.<sup>7</sup>
- **De onda senoidal pura**– Este tipo de inversores proporciona una forma de onda a su salida que, a efectos prácticos, se puede considerar idéntica a la de la red eléctrica general, permitiendo así la alimentación de cualquier aparato de consumo o, en su caso la conexión a red.<sup>8</sup>
- **De onda senoidal modificada (o trapezoidal).** - Intermedio entre los dos anteriores, permite ampliar el espectro de elementos de consumo y de potencia, limitado en el de onda cuadrada modulada.<sup>9</sup>

En el presente caso se escogió un inversor de onda cuadrada modulada, debido a su bajo costo y buen rendimiento con respecto a las cargas que en su mayoría son resistivas, evitando el uso de cargas inductivas, que generen muchos armónicos

<sup>6</sup> Definición disponible en <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-solares-ondulador-o-inversor-fotovoltaico/>

<sup>7</sup> Definición disponible en <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-solares-ondulador-o-inversor-fotovoltaico/>

<sup>8</sup> Tomado de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-solares-ondulador-o-inversor-fotovoltaico/>

<sup>9</sup> Disponible en <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-solares-ondulador-o-inversor-fotovoltaico/>

## Esquema General de un sistema fotovoltaico

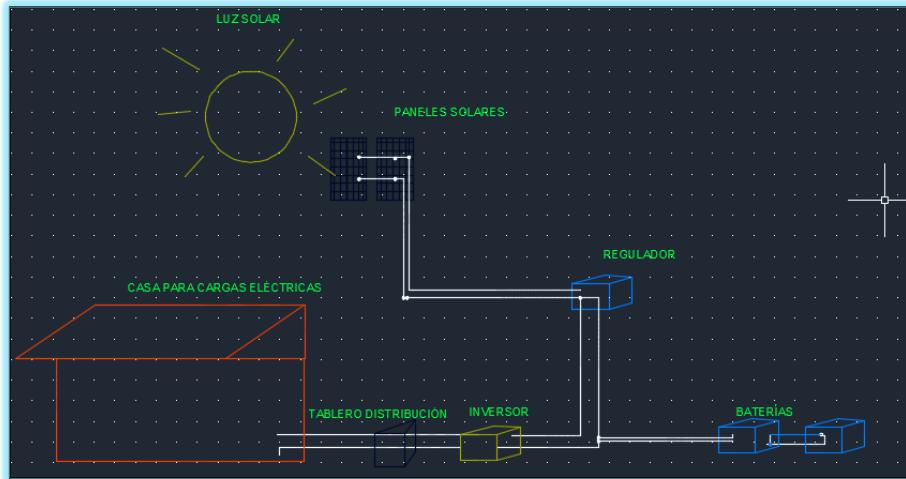


Figura 10 Elaboración propia

Para el desarrollo de instalaciones solares fotovoltaicas de tipo aislado se requiere y recomienda un nivel de irradiación entre 3,0 y 4,0 kW/m<sup>2</sup> día. Para instalaciones solares con conexión a red se necesita, además de mayor insolación (horas de sol) y lugares libres de sombras, un nivel de irradiación superior a los 4,0 kW/m<sup>2</sup> día. En zonas donde predomina la irradiación difusa, no es conveniente llevar a cabo instalaciones fotovoltaicas, ya que la transformación de energía presenta un bajo rendimiento. Por esta razón, los lugares con importante nubosidad a lo largo del año no son aptos para el desarrollo de instalaciones solares fotovoltaicas con conexión a red. En cuanto a la producción de agua caliente sanitaria (ACS), se requieren menores niveles de irradiación solar diaria, del orden de los 2,5 y 3,0 kW/m<sup>2</sup> por día. Sin embargo, donde se requieren mayor radiación directa es en los sistemas térmicos de concentración de media y alta temperatura (CSP), ya que la temperatura que se debe alcanzar con esta tecnología es superior a los 400°C (Marley Vanegas Chamorro, 2015)

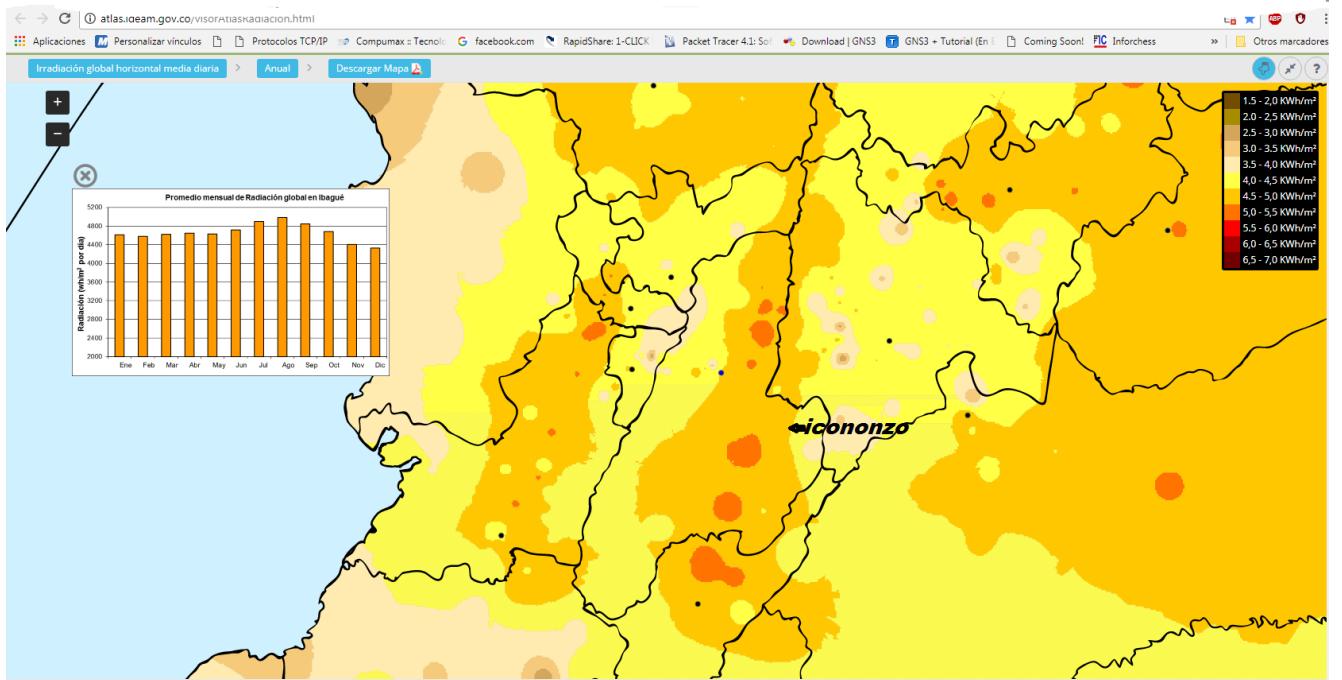


Figura 11. Tomado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Para el caso de Icononzo se puede apreciar que el nivel de irradiación solar promedio anual esta entre 4 y 4,5 KW/m<sup>2</sup>. Ubicación Finca “El Portal de Marco Antonio” 4°10’29.5“N, 74°30’35“W

Luego de hacer una primera revisión del estado del arte de las investigaciones relativas a este proyecto se han seleccionado los siguientes por ser los más pertinentes y actualizados.

**6.5 “Colectores Solares para agua caliente”** (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena INENCO, UNSa –CONICET Salta. Argentina) disponible en [http://inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores\\_soles\\_aguacaliente.pdf](http://inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_soles_aguacaliente.pdf). Un trabajo explicando los tipos de colectores, el diseño, y las temperaturas alcanzadas según cada tipo de colector. Se ha tenido en cuenta para la elección del tipo de colector de placa plana, teniendo en cuenta que maneja temperaturas entre 10-60 grados centígrados.

**6.6 “Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia” (Toledo Arias, Carlos Alberto. Cartagena-Colombia. 2013) Un trabajo orientado al análisis detallado de las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico como una alternativa para cubrir las necesidades eléctricas en las zonas rurales de Colombia, la inversión a futuro del gobierno y diferentes entidades, y el desarrollo sostenible de la comunidad.**

**6.7 “Sistema Fotovoltaico de Iluminación Solar” (Benítez Baltazar, Víctor Hugo. México, 2013) Un artículo de una revista interesante (EPISTEMUS 87. Page 3. Figura 2. Radiación solar en México), acerca de los datos técnicos de un diseño de iluminación con la energía fotovoltaica, especifica los mejores ángulos de inclinación y de la instalación como tal, los valores de voltaje y corriente que se obtiene variando estos datos.**

**6.8 “proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en Nazaret corregimiento del municipio de Uribía, departamento de la guajira – Colombia” (Gálviz Garzón, Jhon Sebastián; Gutiérrez Gallego, Robinson. Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 2014) Un trabajo, que analiza una alternativa, de solución, encontrando la instalación de equipos de suministro energético con celdas solares, teniendo en cuenta distintos factores técnicos y económicos. Acá se evalúa la situación puntual del corregimiento de Nazaret, una población que hace parte del área de la alta Guajira y en cuyo sector, se evidencian un sin número de dificultades sobre la población, en su gran mayoría pertenecientes a la población Wayuu.**

## 7. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA TÉRMICO

### 7.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

Es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor. (Macías, 2013). Esta ciencia pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia. (Macías, 2013) El hecho de que el objetivo deseado del análisis sea la rapidez de la transferencia de calor, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica. Existen tres modos de transferir calor: conducción, convección y radiación. (Macías, 2013)

### 7.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

En contraposición a los mecanismos de la conducción y la convección, donde la transferencia de energía involucra un medio material, el calor puede también transferirse a través de zonas en las que existe un vacío perfecto. (Macías, 2013) En este caso el mecanismo es la radiación electromagnética. Se limitará el análisis a la radiación electromagnética que se propaga como resultado de una diferencia de temperaturas; este fenómeno se llama radiación térmica. Consideraciones termodinámicas muestran: que un radiador térmico ideal o cuerpo negro,

emitirá energía de forma proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo y directamente proporcional al área se su superficie, (Macías, 2013)así:

$$Q_{\text{emitido}} = \sigma * A * T^4$$

Donde  $\sigma$  es constante de proporcionalidad constante de Stefan Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>–K<sup>4</sup> ).

La ley de Stefan Boltzman de la radiación se aplica exclusivamente a cuerpos negros. Es importante señalar que esta ecuación es válida solo para la radiación térmica; otros tipos de radiación electromagnética no pueden tratarse tan simplemente. Se ha mencionado que un cuerpo negro es un cuerpo que radia energía según ley  $T^4$ . A tal cuerpo se le llama negro porque las superficies negras, tales como un trozo de metal recubierto de carbón negro, se aproxima a este tipo de comportamiento (Macías, 2013)



Figura 12. Fuente: <http://www.pasionporvolar.com/la-atmosfera/>

### 7.3 COLECTOR SOLAR DE PLACAS PLANAS

Este tipo de colector de placa plana consta básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbadora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector (Figura 13).

Estos colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua, son ideales para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C. Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas.

Un colector de placa plana consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislamiento. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el absorbedor) generando un efecto invernadero.

La cubierta transparente evita las pérdidas de calor por el viento y las brisas que se lleven el calor colectado (convección). El marco y la cubierta protegen el absorbedor de las condiciones meteorológicas adversas. Típicamente el marco está fabricado de materiales de aluminio y de acero galvanizado, también se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio.

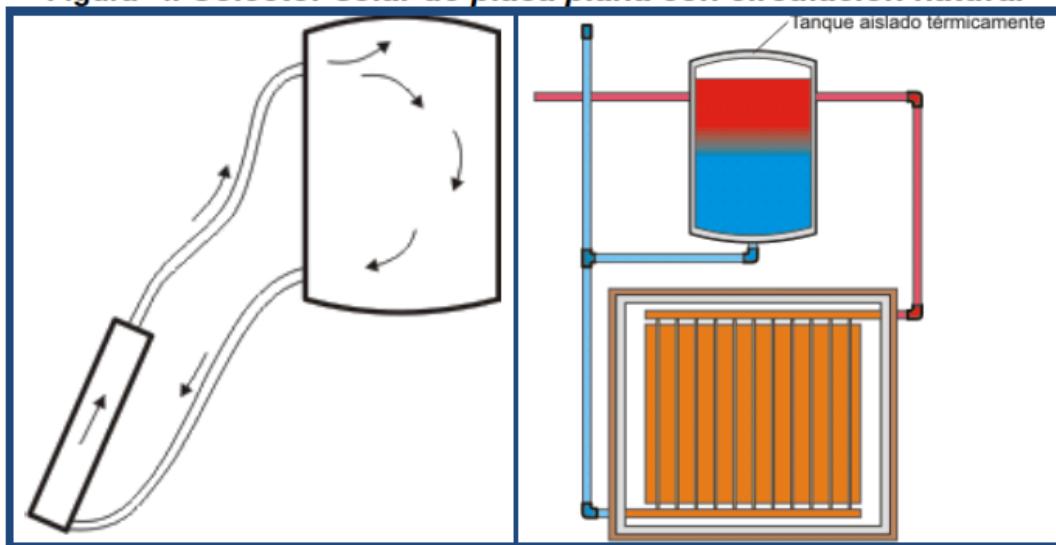
La transmisión energética a través de la superficie es función del espesor de la cubierta, del tipo de material del cual se fabricó y del ángulo de incidencia de la radiación respecto de la superficie. El coeficiente de transmisión energética o transmitancia -  $\tau$ , es el cociente entre la energía que la atraviesa y la que incide sobre él. (CENSOLAR, 2008)

El aislamiento en la parte posterior del absorbedor y en las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción. Esta aislación es por lo general de la espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de lana de vidrio, etc.

Estos colectores poseen una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos).

El principio de funcionamiento de este tipo de colectores es el denominado proceso llamado “Termosifón”, el cual consiste en que la energía térmica que gana el colector se transfiere al agua, que circula a través del mismo, así , el agua aumenta su temperatura volviéndose menos densa, y ascendiendo a la parte superior del colector y llegando al termo-tanque; el agua más densa vuelve al colector recibe calor, aumenta su temperatura y asciende de nuevo al termo-tanque para repetir el proceso de circulación, siempre que existan diferencias de temperaturas.

**Figura 4. Colector solar de placa plana con circulación natural**



**Fuente: Construcción experimental de tres calentadores de agua solares<sup>87</sup>**

Figura 13. Tomada de <https://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/aplicaciones/colectores-solares-agua>

### 7.3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Eficiencia del colector:  $\eta_{hora} = \frac{Q_u}{A_c * H_T}$ , donde

$Q_u$ =Energía útil absorbida por el colector en una hora

$A_c$ =área del colector

$H_T$ =Radiación Total solar incidente sobre la superficie del colector en la unidad del área, durante la misma hora.

El valor de  $H_T$  puede hallarse así:

$$H_T = \frac{H - H_d R_b + H_d(1 + \cos \beta)}{(2 + H(1 - \cos \beta)\rho_\tau/2)}$$

$H$ : Radiación total horaria que incide sobre una superficie horizontal.

$H_d$ : Radiación difusa horaria que incide sobre una superficie horizontal.

$R_b$ : Relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y una superficie horizontal.

$\beta$ : Ángulo de inclinación del colector con relación a la horizontal.

$\rho_\tau$ : Reflexividad del suelo.

Todos estos cálculos fueron basados en el libro de Pérez, Luis. “Manual para el cálculo de y diseño de calentadores solares”. Cuba. 2008. ISBN 978-959-7113-36-2, el cual esta como bibliografía en el presente trabajo.

### 7.3.2 Lista de materiales

- 27 botellas plásticas de 1 ½ litros
- 2 tubos PVC de ½ pulgada
- 2 tubos PVC de ¾ pulgada
- 10m de manguera polietileno negra de ½ pulgada
- 1 lámina de acrílico de 1,20m \* 1.80m
- 1 caneca de aluminio 120 litros
- 1 caneca de aluminio de 200 litros
- ½ bulto de aserrín
- 1 tubo silicona líquida
- 16 T de ¾ a ½ pulgadas
- 4 codos de ¾ pulgadas
- ¼ pintura negra esmaltada
- ¼ pintura negra brillante
- 4 perfiles de hierro
- Tornillos de ¾
- Remaches
- 1 lamina de zinc
- 1 teja de zinc
- Listones de madera

### 7.3.3 Fotos materiales:



Figura 14. Botellas plásticas



Figura 15. Todos los materiales



Figura 16.T de  $\frac{3}{4}''$



Figura 17. Codos y uniones, tubería PVC



Figura 18. Corte de tubería PVC para armar el colector



Figura 19. Colector dentro de la base

Figura 21. Ensamble del tubo dentro de las botellas



Figura 22. Construyendo el Termo tanque



Figura 20. Primer registro de temperatura



Figura 23. Armando la estructura interna del Colector



Figura 24. Colocando tapa cubierta de acrílico



Figura 25. Inserción lamina reflectante



Figura 26. Adaptación ductos de



Figura 27. Etapa de pintura con esmalte negro

entradas y salidas



Figura 28. Segundo registro de temperatura con



Figura 30. Sellado con silicona



Figura 29. Tercer registro de temperatura con  
cubierta



Figura 31. Instalación del colector en el techo



Figura 32. Instalación Termo tanque

FECHA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE (GRADOS CENTIGRADOS)	TEMPERATURA SALIDA DEL COLECTOR A LA DUCHA (GRADOS CENTIGRADOS)
06 AGOSTO 2017	9:31 AM	25	29
06 AGOSTO 2017	2:11 PM	32	38
07 AGOSTO 2017	4:21 PM	34	44
09 AGOSTO 2017	7:57 PM	18	27
10 AGOSTO 2017	8:10 AM	16	27
11 AGOSTO 2017	2:14 PM	19	24
11 AGOSTO 2017	8:51 PM	16	25
14 AGOSTO 2017	10:48 PM	16	30
14 AGOSTO 2017	10:31 PM	17	31

Tabla 3. Registros de temperatura instalados. Sistema térmico completo.

Como se observa en la tabla el día más soleado con una temperatura ambiente de 34°, el sistema alcanzó los 44°; en cambio para un día nublado, con muy poco sol, el sistema logró llegar a los 25°. Se muestra que el sistema es muy viable y funcional. (ver anexo B)

## 8. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO

El propósito del dimensionado del sistema fotovoltaico es calcular el tamaño óptimo de la instalación y de cada uno de sus componentes para obtener una alta fiabilidad en el rendimiento del sistema. A continuación, analizaremos cada uno de los factores para tener en cuenta para la instalación de nuestro sistema fotovoltaico.

Ubicación Finca “El Portal de Marco Antonio”, con las siguientes coordenadas:  $4^{\circ}10'29.5''N$ ,  $74^{\circ}30'35.2''W$

A continuación, se observa el plano arquitectónico del segundo piso, donde se ubica la instalación eléctrica de la red y el sistema fotovoltaico.

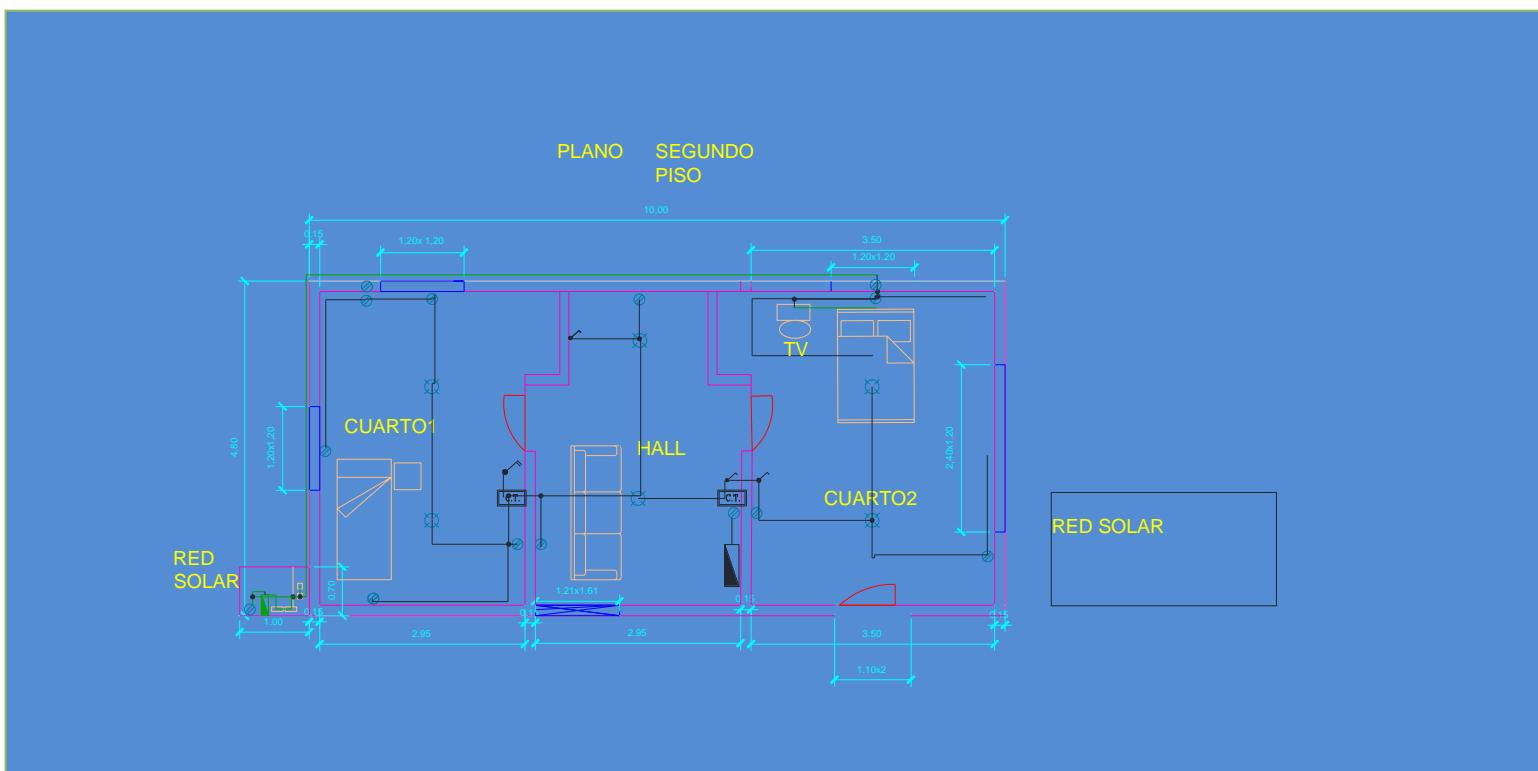


Figura 33. Elaboración propia

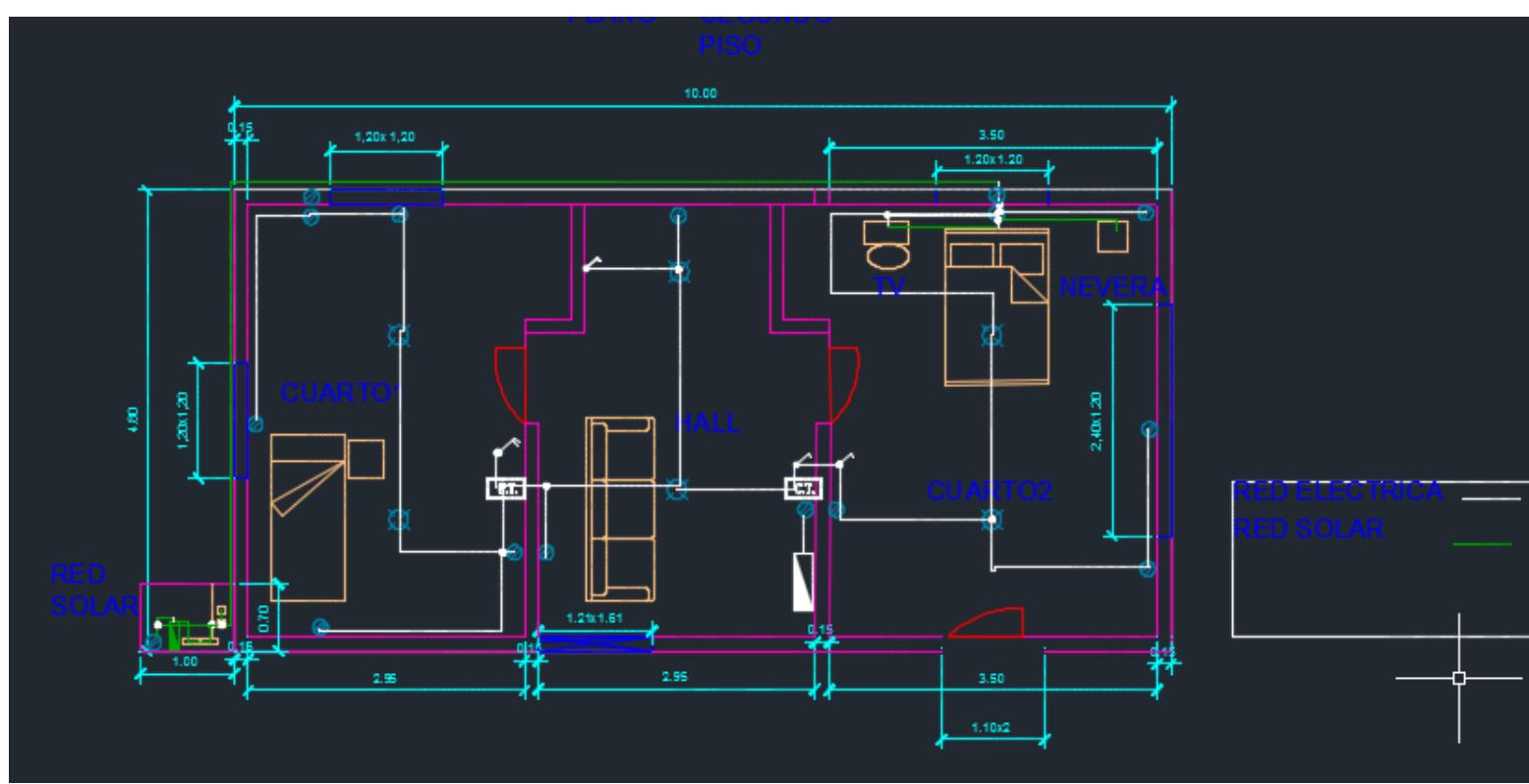


Figura 34. Elaboración propia. Línea verde es la red solar

Departamento del Tolima, Municipio Icononzo, Vereda “Parroquia vieja”.

## 8.1 DATOS TECNICOS

### 8.1.1 Días lluvia dpto. Tolima

#### Datos Ideam

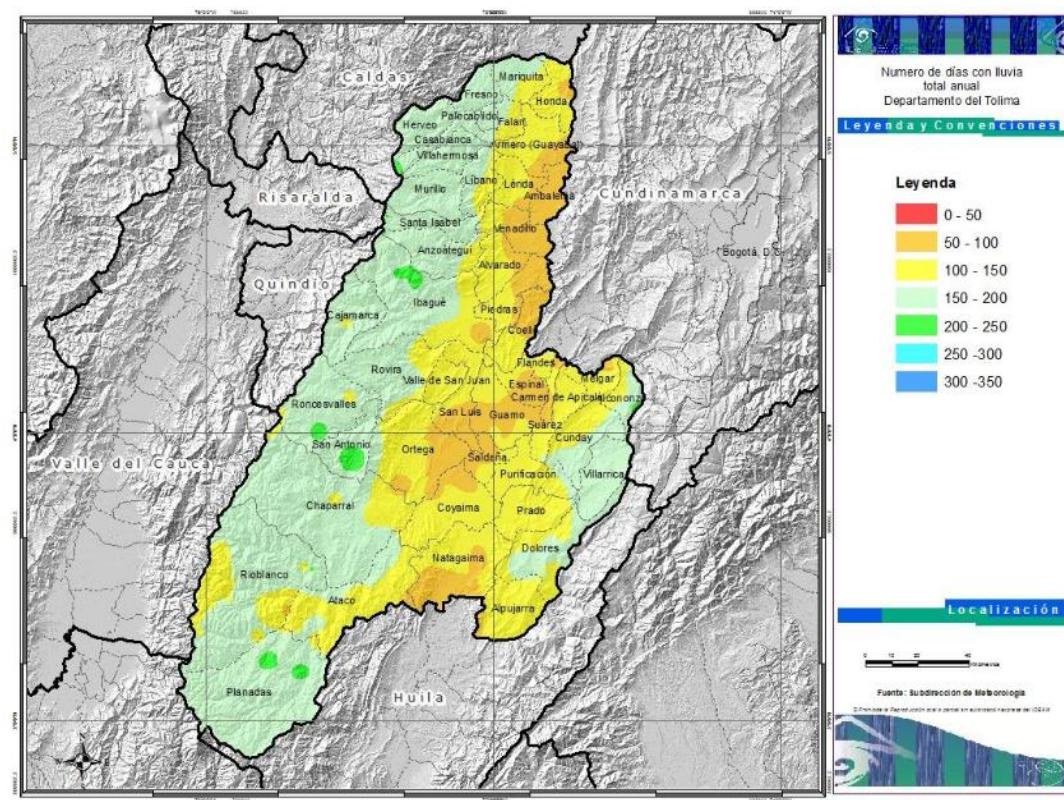


Figura 35. Fuente: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas>

El régimen de lluvias durante el año es de tipo bimodal. Presenta dos épocas secas en junio-julio-agosto y en diciembre-enero-febrero, siendo la principal la correspondiente a mitad de año. Esta última va siendo más marcada en dirección al centro y sur del departamento. Por otra parte, en el núcleo de mayores lluvias del sur del departamento, la temporada seca del primer trimestre prácticamente desaparece, dando lugar a lluvias muy frecuentes. Las temporadas de lluvia en la

mayor parte del departamento, ocurren en los meses de marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre.<sup>10</sup>

### 8.1.2 Temperaturas Tolima

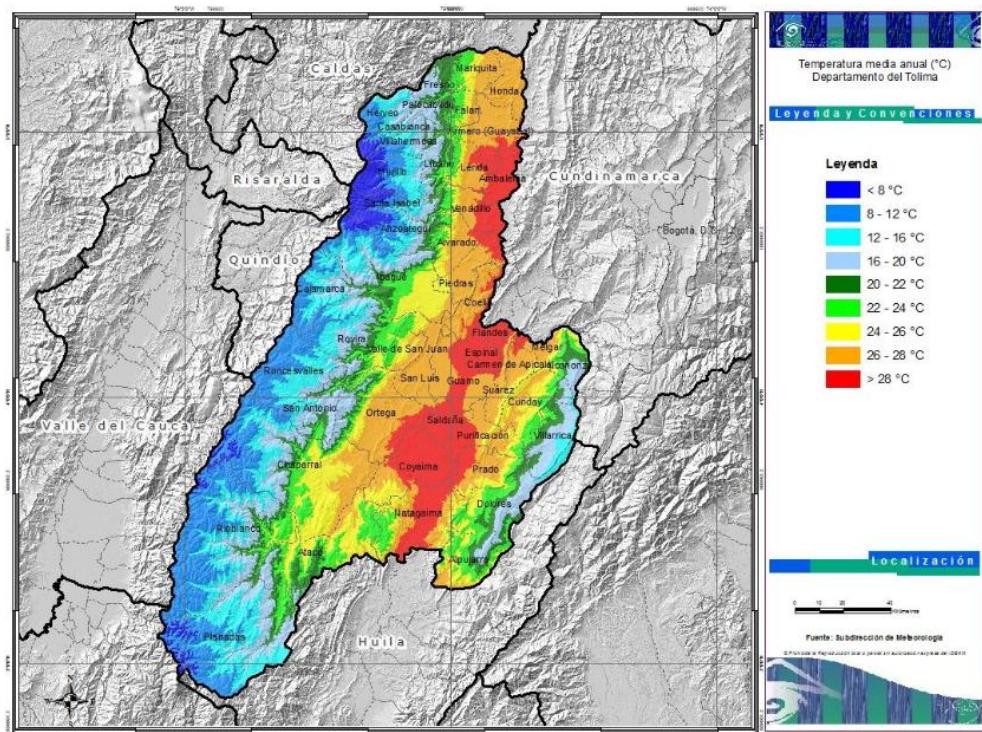


Figura 36. Fuente: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas pag2>

*Para Icononzo está entre 16 y 22/°C*

<sup>10</sup> Cita textual de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas ag1>

### 8.1.3 Clasificación climática Tolima

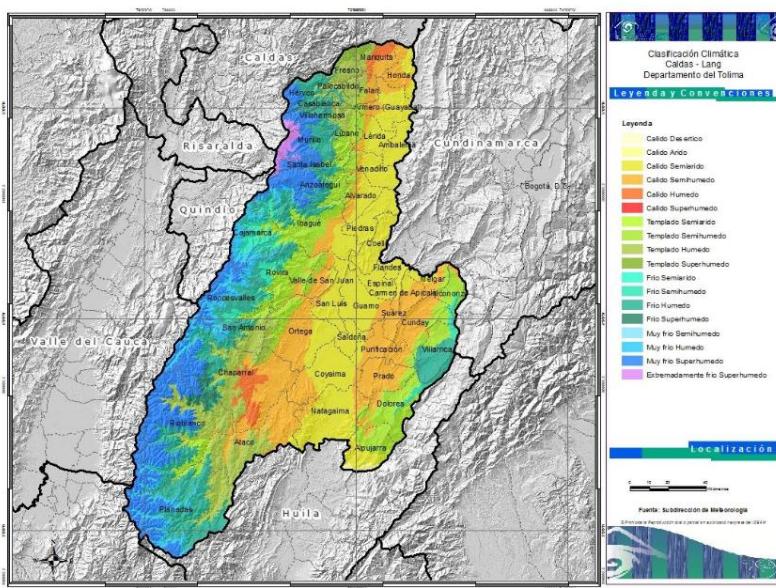


Figura 37. Fuente: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas> pag2

Para el caso de Icononzo, se tiene un clima templado semiárido

Región andina: 1,643 KW/m2/año

CUADRO DE CARGAS SISTEMA FOTOVOLTAICO					
CARGA ELÉCTRICA	POTENCIA(Watts)	CANTIDA HORAS DI	HORAS DI	WATTS/H/DIA	
NEVERA	89	1	8	712	
TV	83	1	6	498	
LUMINARIA LED	5,5	4	4	88	
REFLECTOR LED	20	2	8	320	
TOTAL	234			1618	
Ttotal x factor simultaneidad				970,8	

Tabla 4. Elaboración propia

<b>DIMENSIONAMIENTO INVERSOR</b>		
PTSUMA DE CARGAS*0,75		728,1 (Watts)
POTENCIA INVERSOR		
PTSUMA DE CARGAS*0,50		485,4 (Watts)
PTSUMA DE CARGAS *0,75>PTINVERSOR>PTSUMA DE CARGAS*0,50		600 (Watts)
<b>BATERIAS</b>		
FACTOR CORRECION	1,66	
DIAS AUTONOMIA	2	
DEMANDA TOTAL(Ah)	80,9	Amperios/hora
CAPACIDAD BATERIAS	268,588	A/h
CAPACIDAD REAL DE BATERIAS	100	A/h
REGULADOR DE CARGA	15,32	Amperios
BATERIAS 2	161,8	Amperios/hora
PROFUNDIDAD DESCARGA	0,8	
CAPACIDAD RECTIFICADA	202,25	Amperios/hora

Tabla 5.

<b>ESPECIFICACIONES PANELES SOLARES</b>		
PANEL SOLAR POLICRISTALINO	12V,150 VATIOS	300 (Watts)
	DIMENSIONES 1485*668*35 MM	
	Peso 11.6 kg, Tolerancia +- 3%,	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Corriente Máxima	7,66 Amperios
	Voltaje Corto Circuito Máximo	18,26 Voltios
	Voltaje Circuito Abierto Máximo	21,89 Voltios
energia panel total esperada(Kwh)		7086,84 (KWatts)
durante 20 años el panel produciría esta energía		

Tabla 6.



Ffigura 38. Paneles Solares conectados en paralelo

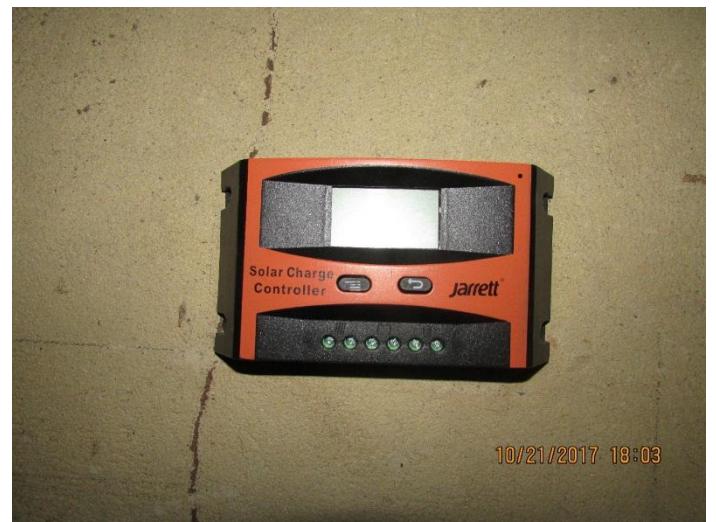


Figura 40. Regulador de carga  
baterías

Figura 39. Tablero Distribución carga eléctrica AC



Figura 41. Instalación baterías en paralelo



Figura 42. Instalación paneles en el techo



Figura 43. Sensor de movimiento 1



Figura 44. Sirena alarma



Figura 45. Sensor de movimiento 2

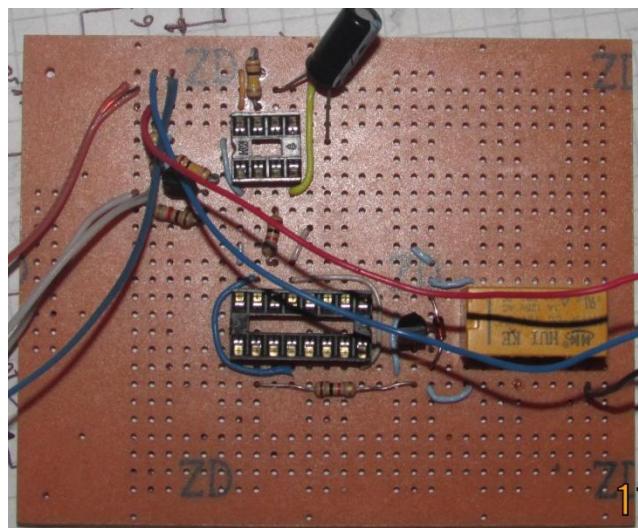


Figura 46. Sensor de aplausos



Figura 47. Instalación final fotovoltaica



Figura 48. Pruebas carga eléctrica AC

## 9. RAES DE APOYO AL DISEÑO DEL INVERSOR

RAE	
1. TÍTULO	A New Control Strategy for the Boost DC-AC Inverter
2. AUTOR	P. Sanchis Gdrpide, O. Alonso SBdaba and L. Marroyo Palomo
	Department of Electrical and Electronic Engineering Department of Electrical and Electronic Engineering Universidad Pública de Navarra Campus Arrosadia, 3
3. EDICIÓN	1006 Pamplona, Spai
4. FECJA	No se encuentra en el artículo
5. PALABRAS	
CLAVE	inversor, boost, corriente, voltaje, inductancia, etapa de control

### RESUMEN:

Este artículo presenta un nuevo diseño del inversor Boost, para el cual plantea dos bucles o etapas de control: un bucle de control de corriente de la inductancia y una etapa de control de tensión (voltaje) a la salida.

Estas dos etapas llevan controles de tiempos acordes para mantener las condiciones de operación de las variables de entrada del sistema. Este sistema muestra mejoras significativas en comparación del modo de control deslizante.

El sistema se describe en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} v_I - v_L &= (1-d)v_O \\ i_C + i_O &= (1-d)i_L \end{aligned}$$

Donde  $v_0$ , es el voltaje del condensador (o salida),  $v_I$  es la entrada voltaje,  $v_L$  es el voltaje del inductor,  $I_0$  es la corriente de salida,  $I_c$  es la corriente del condensador,  $I_L$  es la corriente del inductor y  $d$  es el tiempo del valor medio del ciclo de trabajo.

Las funciones de transferencia para el inductor y el capacitor son:

$$\frac{I_L(s)}{V_L(s)} = \frac{1}{r_L + Ls}$$

$$\frac{V_O(s)}{I_C(s)} = \frac{1 + r_C C s}{C s}$$

El controlador PI de cada etapa del sistema, requiere un buen nivel de filtrado de las variables eléctricas, para eliminar los armónicos producidos por el suicheo, recordando que esta frecuencia de suicheo es muchísimo mayor que la de salida del inversor que sería la de la red de 60 Hz.

A continuación, se encuentran las estructuras de cada etapa por separado:

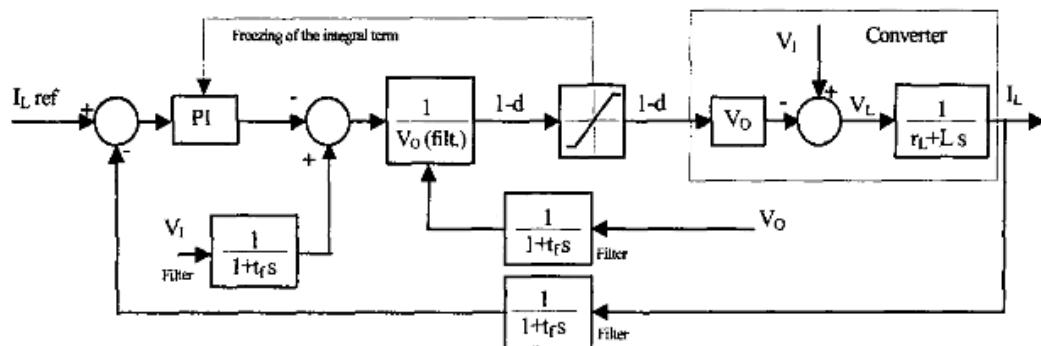


Fig. 2. Inductor current control loop

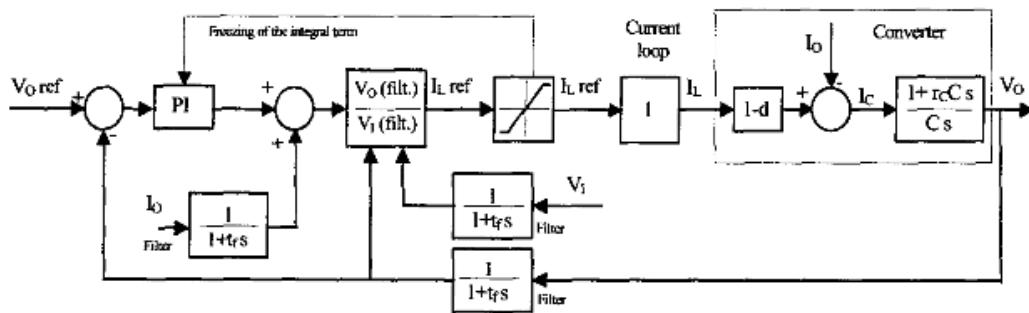


Fig. 3. Output voltage control loop

**RAE**

Los autores expresan la fiabilidad de este nuevo sistema de diseño de inversor de CC a AC, con respecto al de control deslizante

**7.** Las pruebas y mediciones hechas en laboratorio arrojaron significativas mejoras con base en diseños anteriores.  
**CONCLUSIONES**

**8. AUTOR DEL RAE** Marcos Franco

**RAE**

**1. TÍTULO** Zero-voltage-switching DC/AC inverter

**2. AUTOR** C.-M. Wang

**3. EDICIÓN** IET Electr. Power Appl., Vol. 1, No. 3,

**4. FECHA** Mayo 2007

**5. PALABRAS CLAVE** A novel zero-voltage-switching (ZVS), boost, corriente, voltaje, inductancia, etapa de control

**RESUMEN**

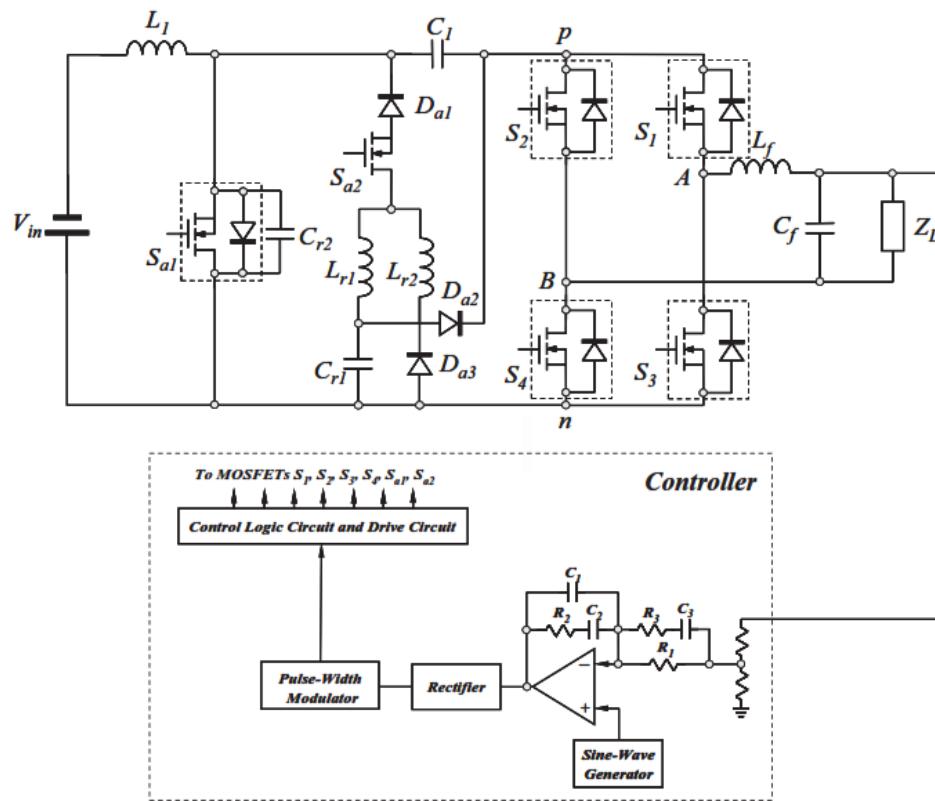
Este artículo propone un nuevo diseño de un convertidor DC / AC de conmutación de voltaje cero (ZVS). La propuesta del inversor no sólo puede proporcionar una tensión de salida mayor o menor que la tensión de entrada, además puede utilizar la técnica de control de modulación de anchura de pulso (PWM). En la propuesta el inversor, adicionalmente de operar a una frecuencia

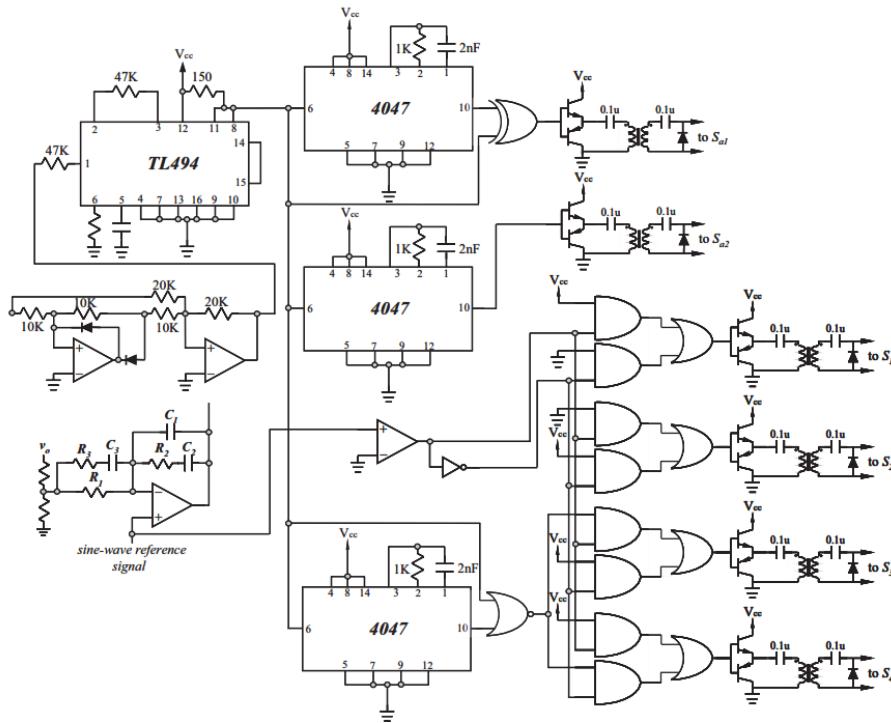
constante, todos los dispositivos semiconductores funcionan a “softswitching” sin tensión de tensión adicional y tensión de corriente. En este caso específico el diseño cubre una potencia máxima de 1000 W. Se examina el inversor ZVS-PWM buck-boost para evaluar el rendimiento del inversor. Los inversores de modulación de ancho de pulso de fuente de tensión (PWM) han sido ampliamente utilizados en aplicaciones industriales como fuentes de alimentación ininterrumpidas, UPS, cambiadores estáticos de variadores de velocidad. Esto se debe a su capacidad para control continuo y lineal de la frecuencia y voltaje de salida.

El autor ha propuesto una sola etapa de resonancia de la serie de resonancia Inversor. El método resonante en serie se utiliza para función step-up / down con una sola etapa topología y estas topologías operan en forma discontinua modo de conducción. Por lo tanto, este inversor es adecuado para aplicación de energía. La nueva estrategia de control no sólo permite que el convertidor de impulso DC / DC tenga el mismo impulso. Además, el ciclo de convertidor DC / DC de alta tensión e inversor PWM de buck en la del inversor es sincrónico. La interferencia del ruido de conmutación se puede quitar. De esta manera todos los dispositivos semiconductores en el inversor propuesto funcionan a conmutación suave sin tensión de tensión adicional y corriente.

El texto presenta todos los análisis matemáticos que se tienen en cuenta para el diseño y el establecimiento de los parámetros óptimos, así como los valores reales de los distintos componentes que lo integran.

A continuación, se presentan los planos del diseño de este inversor propuesto:





En el primero se observa el diagrama de control del inversor y el segundo las etapas detalladas del circuito lógico del controlador.

#### R A E

Los autores expresan presentan un nuevo modelo ZVS-PWM de una sola etapa boost con una configuración simple y compacta. Todos los dispositivos semiconductores en la propuesta ZVS-PWM del inversor buck-boost funcionan en ZVS, es decir enciende y apaga. El inversor propuesto está regulado por el convencional SPWM a frecuencia constante. Por lo tanto, El inversor ZVS-PWM puede utilizar el PWM y el ZVS técnicas. Se alcanza una alta eficiencia energética superior al 90,5% bajo la potencia nominal de 1000 W para el ZVS- Inversor PWM buck-boost. La mayoría de los resultados prácticos son de acuerdo con la predicción teórica.

7.

#### CONCLUSIONES

8. AUTOR  
DEL RAE Marcos Franco

#### RAE

1. TÍTULO	Boost DC–AC Inverter: A New Control Strategy
	Pablo Sanchis, <i>Member, IEEE</i> , Alfredo Ursæa, <i>Member, IEEE</i> , Eugenio Gubía,
2. AUTOR	<i>Member, IEEE</i> , and

Luis Marroyo, *Member, IEEE*

<b>3. EDICIÓN</b>	IEEE transactions on power electronics, vol. 20, no. 2,
<b>4. FECHA</b>	Marzo 2005
<b>5. PALABRAS CLAVE</b>	Sistemas de control, conversión de corriente continua, convertidores, conversión de energía, electrónica de potencia, generación de energía, Control del sistema de potencia.

## RESUMEN

Boost dc-ac inversor se genera naturalmente en una sola etapa de tensión alterna cuyo valor de pico puede ser menor o mayor que la tensión de entrada de CC. El principal inconveniente de esta estructura con su control. El inversor Boost consiste en convertidores dc-dc Boost que tienen que ser controlados en una condición de punto de operación variable. El control de modo deslizante se ha propuesto como una opción. Sin embargo, no controla directamente la corriente media de la inductancia. Este artículo propone una estrategia de control para el inversor Boost que cada Boost se controla mediante una regulación de doble bucle, esquema que consiste en un nuevo control de corriente del inductor interno “loop” y un nuevo bucle externo de control de voltaje de salida. Estos bucles incluyen compensaciones para hacer frente a la variable de Boost op- la condición de punto de vencimiento y lograr una alta robustez de la tensión de entrada y las perturbaciones de corriente de salida. El control propuesto alcanza un rendimiento muy alto y confiable, incluso en situaciones transitorias tales como cargas no lineales, cambios abruptos de la carga, cortocircuitos, etc., cuyo control de modo deslizante no puede soportar.

---

**R A E**

La estrategia de control propuesta se valida tanto por simulación y prototipos de resultados experimentales. Además, se compara con el control de modo deslizante. Rendimiento nominal de la carga lineal es similar para ambas estrategias de control. Sin embargo, el modo de deslizamiento de control no es capaz de mantener el sistema bajo control especial situaciones transitorias, tales como cargas no lineales, perturbaciones de la tensión de entrada, y cortocircuitos transitorios, mientras que el control propuesto de esta estrategia supera estas situaciones con un enfoque robusto y confiable y control estable del sistema durante el cortocircuito por medio de la limitación de la corriente del inductor a su valor de saturación programado. Después del cortocircuito, el sistema vuelve a su situación nominal sin sobretensión ni sobre corriente. En resumen, la propuesta de la estrategia de control alcanza una fiabilidad muy alta, lo que es una propiedad muy valiosa de la unidad de generación. El control. El inversor Boost se puede utilizar ventajosamente en sistemas fotovoltaicos.

**7.  
CONCLUSIONES**

**8. AUTOR  
DEL RAE** Marcos Franco

## 9.1 CÁLCULOS DISEÑO INVERSOR

Se propone una frecuencia de la señal PWM de **10Khz**, y se utiliza con el micro controlador PIC con un oscilador o cristal de 4Mhz

Primero se calculará la **resolución** para ver si se cuentan con suficientes bits para todo el ancho de pulso o ciclo de trabajo de la señal que se quiere obtener con el módulo CCP PIC modo PWM, la resolución no tiene que tener **más de 10 bits**, si en el cálculo salen más de 10 bits hay que elegir otra frecuencia para la señal PWM, o un oscilador o cristal con una frecuencia diferente de tal forma que la resolución no sea mayor a los 10 bits, también hay que elegir el prescaler que se utilizará con el timer2 para obtener la PWM<sub>Frecuencia</sub> buscada, para este caso se elige un prescaler de **4** para la resolución se tendrá: (Microchip, 2017)

$$\text{Resolución bits} = \log(F_{osc}/(F_{pwm} * \text{PRE TMR2}))/\log 2$$

Reemplazando valores:

$$\text{Resolución bits} = \log(4\text{Mhz}/(10\text{Khz} * 4))/\log 2$$

Resolución= 6.64385919 bits

El valor cargado en **Carga del Timer2** no tiene que ser mayor a  $2^{(6.64385619)}=100$   
Este sería el DC (duty cycle) o duración del ciclo, donde si DC vale 0, tendrá un ciclo de trabajo del 0%, si DC vale 100, tendrá un ciclo de trabajo de 100%, si DC vale 50, tendrá un ciclo de trabajo de 50% (Microchip, 2017)

Se calcula el T (período Pwm)

$$T_{pwm}=\frac{1}{F_{pwm}}$$

$$T_{pwm=\frac{1}{10Khz}}$$

$$T_{pwm=100\mu s}$$

Luego mediante la fórmula para el cálculo del periodo se despeja el valor a cargar en el registro PR2 para obtener el periodo de 100μs, la fórmula es la siguiente:

$$T_{pwm= PR2+1} = \frac{4}{F_{osc}} * PRE TMR2$$

Despejando PR2, se tiene:

$$PR2 + 1 = \frac{T_{pwm}}{\frac{4}{F_{osc}} * PRE TMR2}$$

PR2= 24, que en binario es 11000

En el código siguiente para el ejemplo para el PIC16F2550 se utilizará el módulo CCP2, por lo que se ha cargado CCPR2L:CCP2CON<5:4> con 50 para obtener aproximadamente un ciclo de trabajo del 50%, 50 en un número binario de 10 bits es 0000110010, de los cuales los primeros 8 bits que son 00001100 se han cargado en el registro CCPR2L y en los bits 5 y 4 del registro CCP2CON se han cargado los otros 2 que son 10.

El código preparado para la utilización del módulo CCP PIC modo PWM en el ejemplo, permitirá obtener una señal PWM con un periodo muy próximo a los 100us que se ha buscado, esta señal se obtendrá por el pin CCP2 el que tiene que ser configurado como salida, la señal se obtendrá con un ciclo de trabajo del 50%. (Microchip, 2017)

### 9.1.1 FILTRO LC DE SALIDA

Para poder filtrar la señal, es decir mejorarla y tratar de obtener una onda senoidal, se requiere un proceso de tratamiento de la señal, conocido como filtro, que para este caso se propone uno compuesto de una bobina o inductancia y condensador. A continuación, se muestra el procedimiento de cálculo:

La corriente del condensador se calcula así:

$$I_C = 0.05 * I_0$$

Par la resistencia de carga se tiene:

$$Z_C = \frac{V_0}{I_C} = \frac{V_0}{0.05 * \frac{S_0}{V_0}}$$

Reemplazando los valores del sistema

$$Z_C = \frac{V_0}{I_C} = \frac{120v}{0.05 * \frac{500w}{120v}} = 576\Omega$$

En el caso del condensador:

$$C = \frac{1}{\omega * Z_C}$$

Tomando los valores del diseño

$$C = \frac{1}{2\pi * 60hz * 576\Omega} = 4,6051\mu F$$

Z de carga=

$$Z_{load} = \frac{V_0}{I_C} = \frac{120v}{\frac{500w}{120v}} = 28.8 \Omega$$

Hallando la impedancia del inductor

$$z_l = 0.05 * z_c = 0.05 * 28.8 \Omega = 1.44 \Omega$$

La bobina sería:

$$L = \frac{z_l}{\omega} = \frac{1.44 \Omega}{2\pi * 60 \text{ hz}} = 3.8197 \text{ mH}$$

### 9.1.2 Circuito de aislamiento Etapa Digital y de Potencia

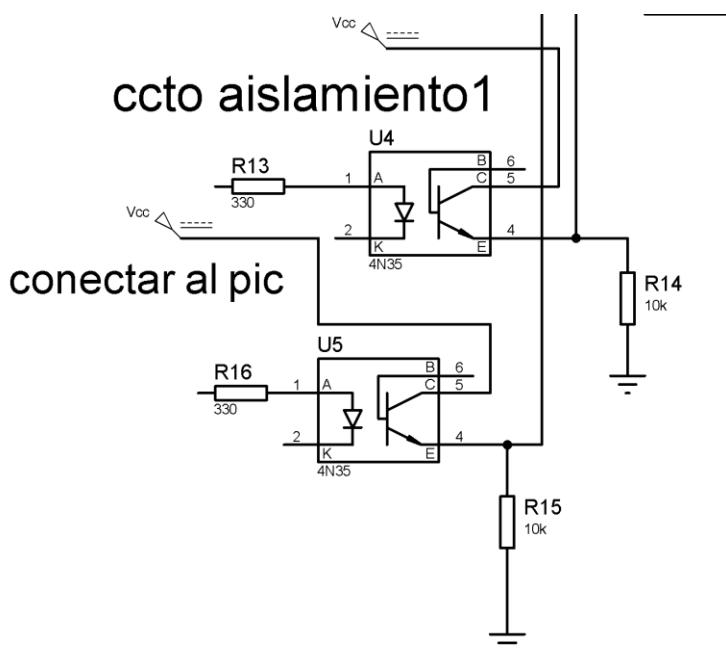


Figura 49. Elaboración propia

Esta etapa permite la protección de la etapa digital del micro controlador y la etapa de potencia donde se encuentran los mosfet.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Un MOSFET es un dispositivo semiconductor utilizado para la commutación y amplificación de señales. El nombre completo, Transistor de Efecto de Campo de Metal-Óxido-Semiconductor (Metal Oxide Semiconductor

### 9.1.3 Circuito del driver de los Mosfet IRF840

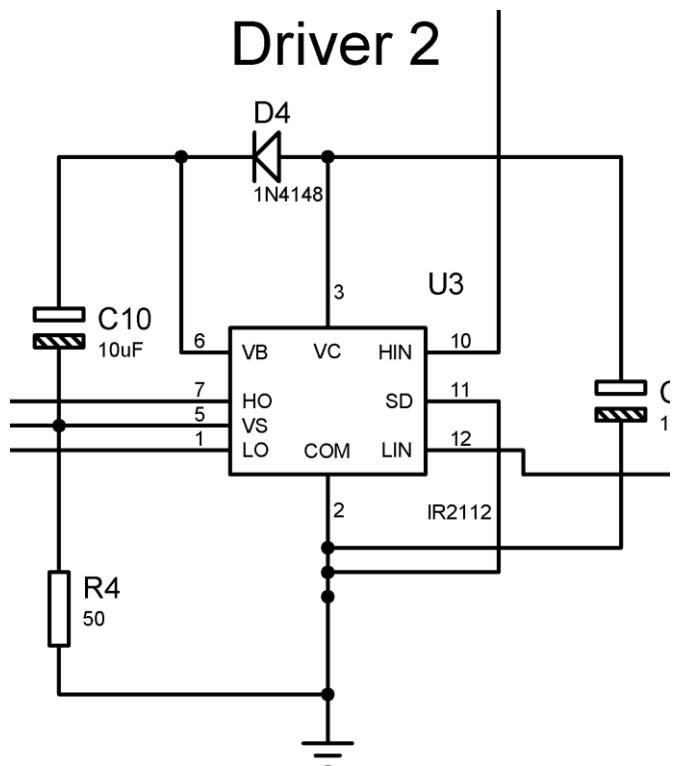


Figura 50. Elaboración propia

### 9.1.4 Etapa de Potencia

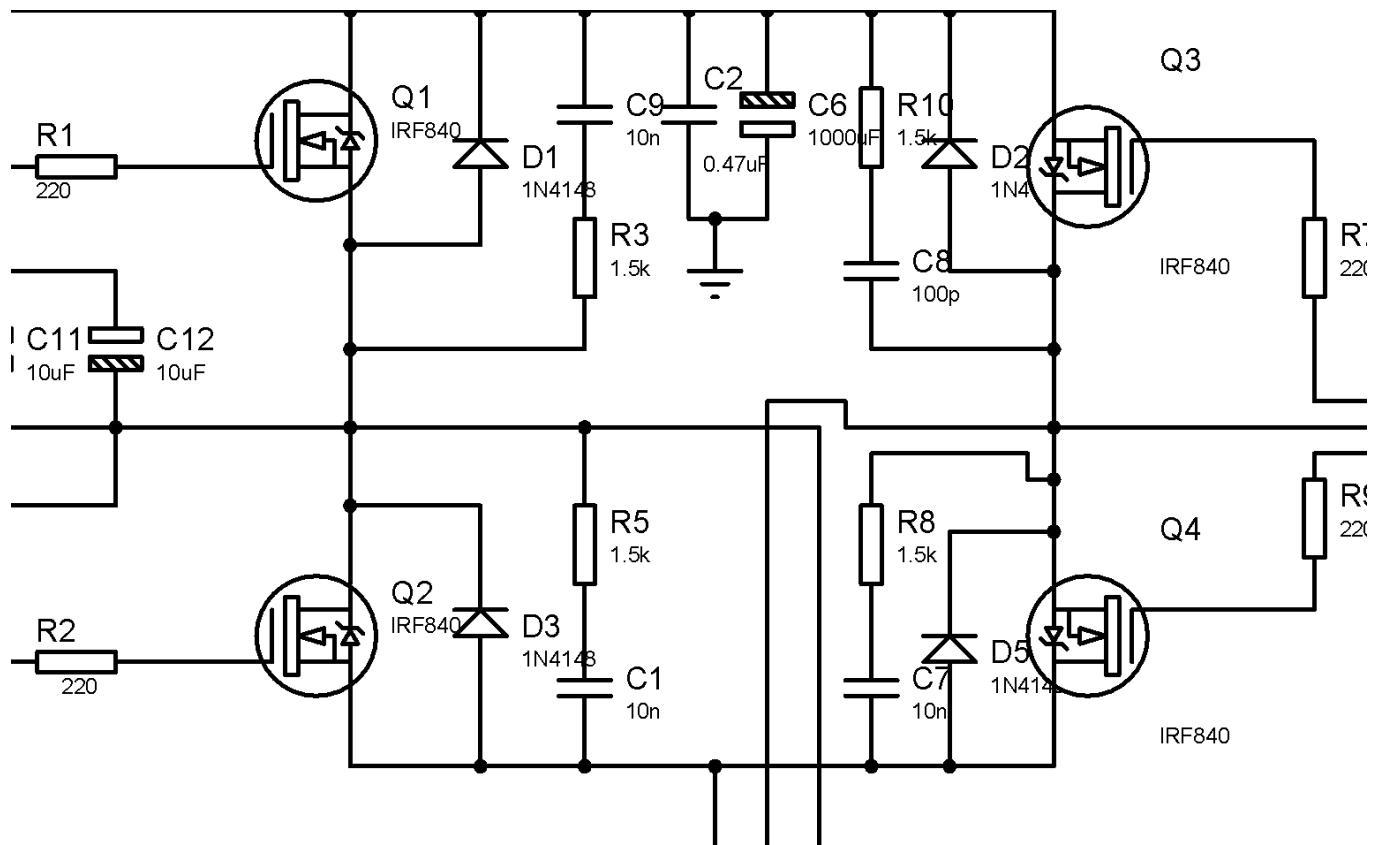


Figura 51. Elaboración propia

### 9.1.5 Circuito Completo Inversor

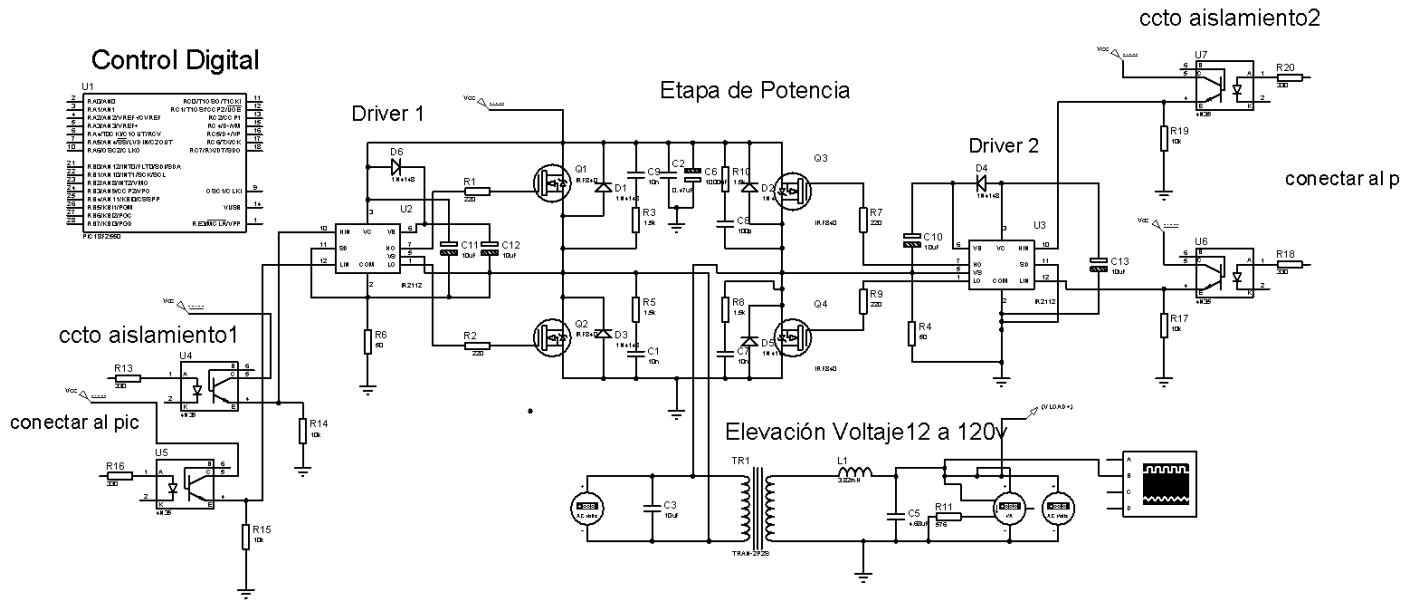


Figura 52. Elaboración propia

### 9.2 Segundo prototipo inversor de 100watts

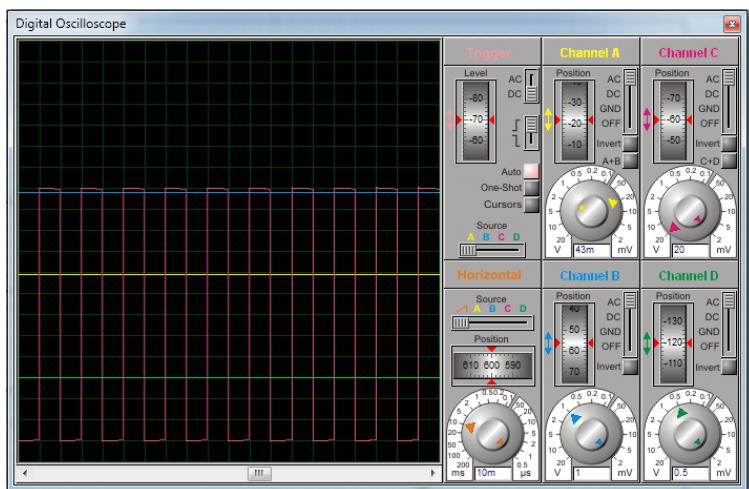


Figura 53. Señal de salida. Elaboración propia

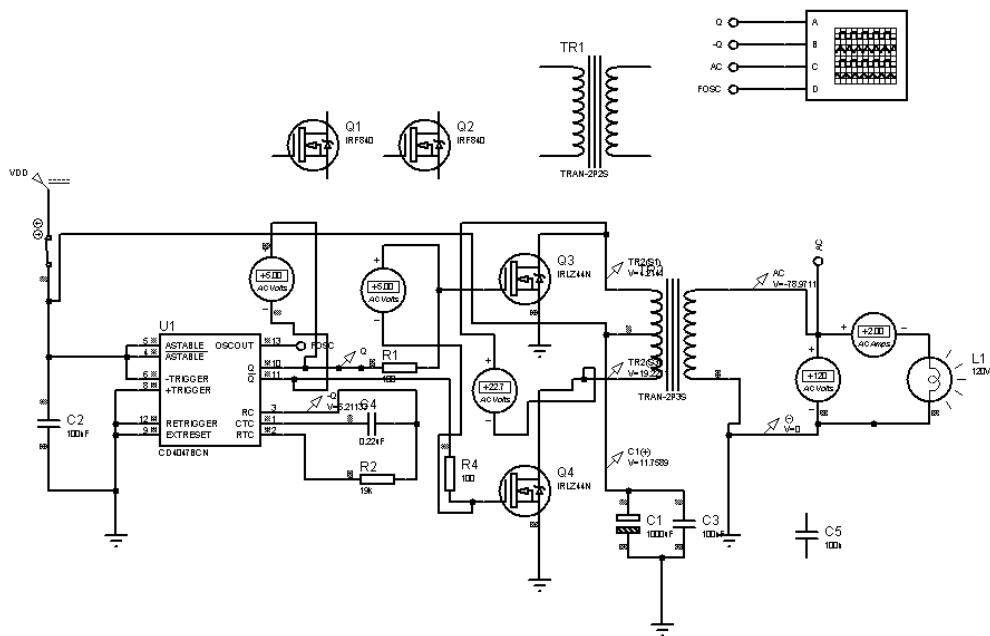


Figura 54. Plano inversor de 100 watts. Elaboración propia

## 10. Diseño Sensores

### 10.1 Sensor de Aplausos

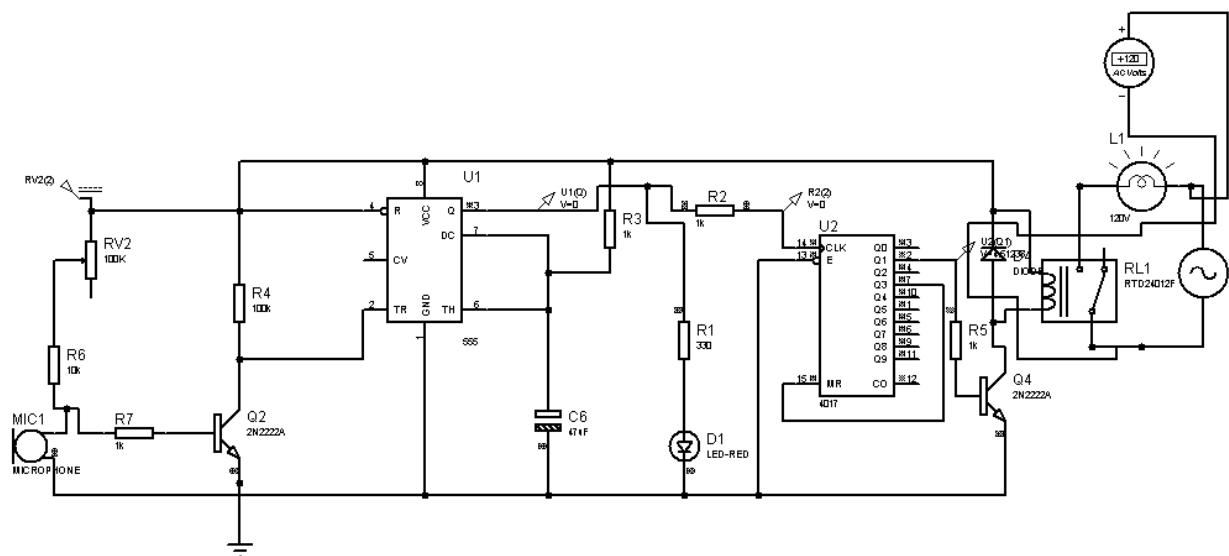


Figura 55. Elaboración Propia

En este caso se ha realizado previamente la simulación en Proteus 8 Profesional y luego se realizó el montaje en baquelita universal

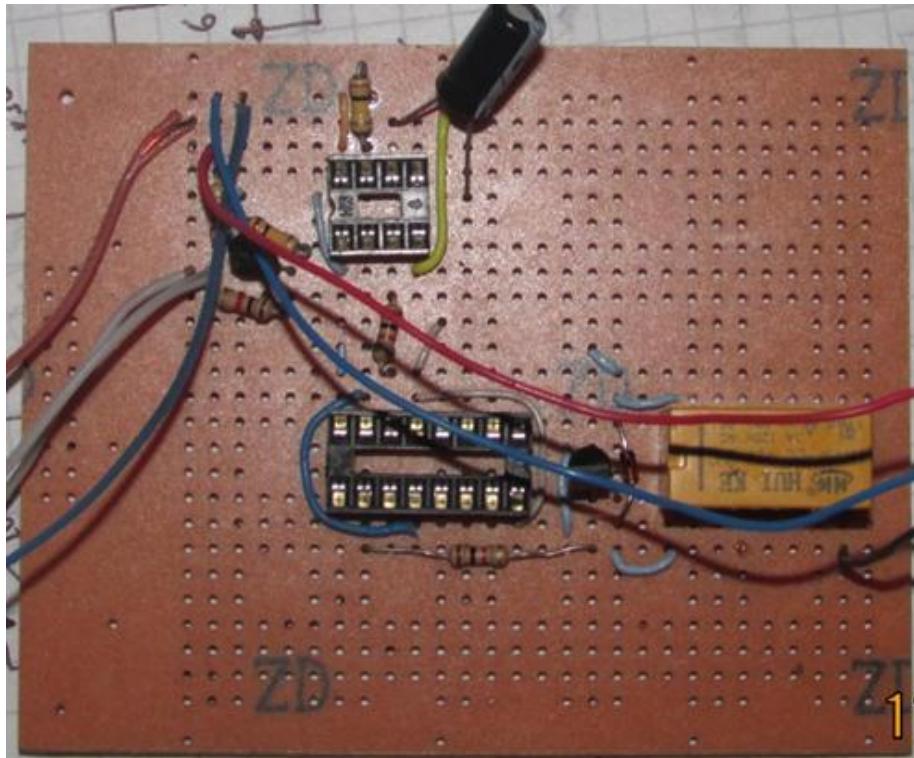


Figura 56. Elaboración propia

Hay que tener en cuenta que, por seguridad y mantenimiento del sensor, es recomendable colocar sockets o bases para pines en los integrados LM555 y CD4017.

## 11. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se aplicaron las metodologías Bottom-Up y Top Down, descritas a continuación,

### 11.1 Diseño Bottom-Up

Esta metodología de diseño comprende la descripción del circuito mediante componentes que pueden agruparse en diferentes módulos, y éstos últimos a su vez en otros módulos hasta llegar a representar el sistema completo que se desea implementar, como muestra la figura ([http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/3835/2\\_-Metodolog%C3%ADa\\_de\\_dise%C3%B1o\\_de.hardware.pdf?sequence=4](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/3835/2_-Metodolog%C3%ADa_de_dise%C3%B1o_de.hardware.pdf?sequence=4))

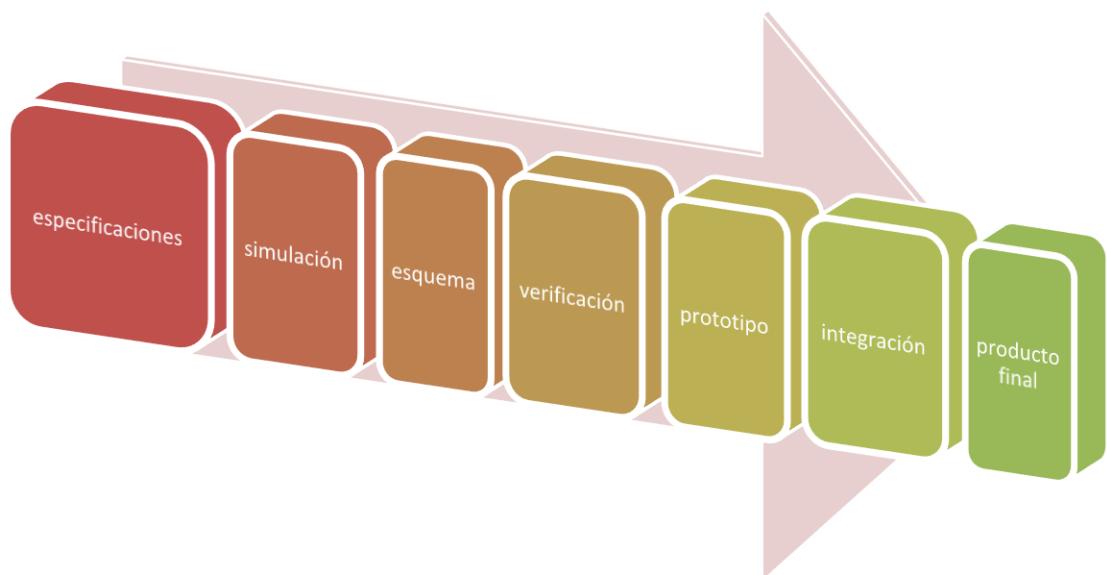


Figura 57. Elaboración propia

## 11.2 Diseño Top-Down

El diseño Top-Down consiste en capturar una idea con un alto nivel de abstracción, implementarla partiendo de la misma, e incrementar el nivel de detalle según sea necesario. El sistema inicial se va subdividiendo en módulos, estableciendo una jerarquía. Cada módulo se subdivide cuantas veces sea necesario hasta llegar a los componentes primarios del diseño como muestra el esquema de la figura ([http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/3835/2\\_-Metodolog%C3%ADAs\\_de\\_dise%C3%B1o\\_de.hardware.pdf?sequence=4](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/3835/2_-Metodolog%C3%ADAs_de_dise%C3%B1o_de.hardware.pdf?sequence=4))

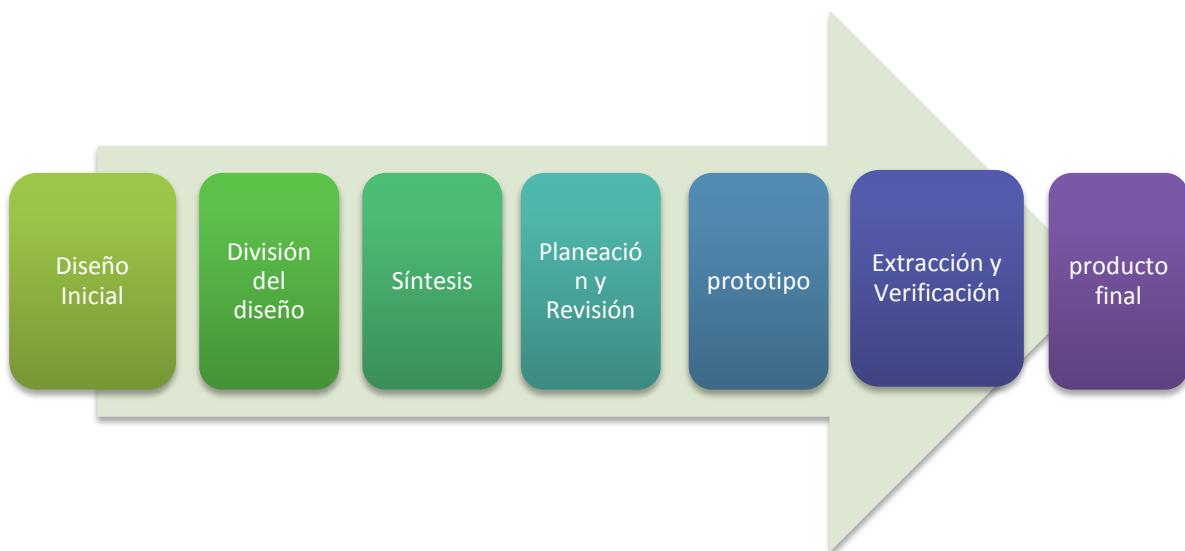


Figura 58. Elaboración Propia

A continuación, se procede al desarrollo de las etapas de trabajo, comenzando con el pre-diseño

## 12. PREDISEÑO:

### ENTRADAS:

- LUZ SOLAR
- SEÑAL AUDIBLE -SONIDO (SENSORES)
- DETECTOR DE PRESENCIA

### SALIDAS:

- TV
- REFRIGERADORA
- LUMINARIAS (4 FOCOS Y 2 REFLECTORES)
- PC

Requerimientos del sistema	
• Los paneles deben cubrir una potencia máxima de 300w	• El voltaje de circuito abierto del panel es de 21,89v y corto circuito 18,26v
• Soportar un factor de demanda en potencia de 870 watts	• El peso máximo de cada panel solar son 11,46Kg, cada uno de 150watts
• Soportar 2 días de autonomía del sistema de alimentación	• El sistema térmico debe proveer agua caliente de al menos 30 Grados centígrados
• El inversor debe cubrir mínimo 440 watts	• El termo tanque debe tener una capacidad mínima de 120 y máxima de 200 litros
• Las baterías deben soportar mínimo 270 amperios/hora	• El colector solar debe proveer agua caliente
• El regulador de carga debe ser de 20 <sup>a</sup>	• Cada sistema: el fotovoltaico y el térmico deben ser independientes
• La salida máxima del panel solar en corriente es de 7,66 A	

Tabla 7. Requerimientos sistema

## 12.1 CIRCUIT DIAGRAM

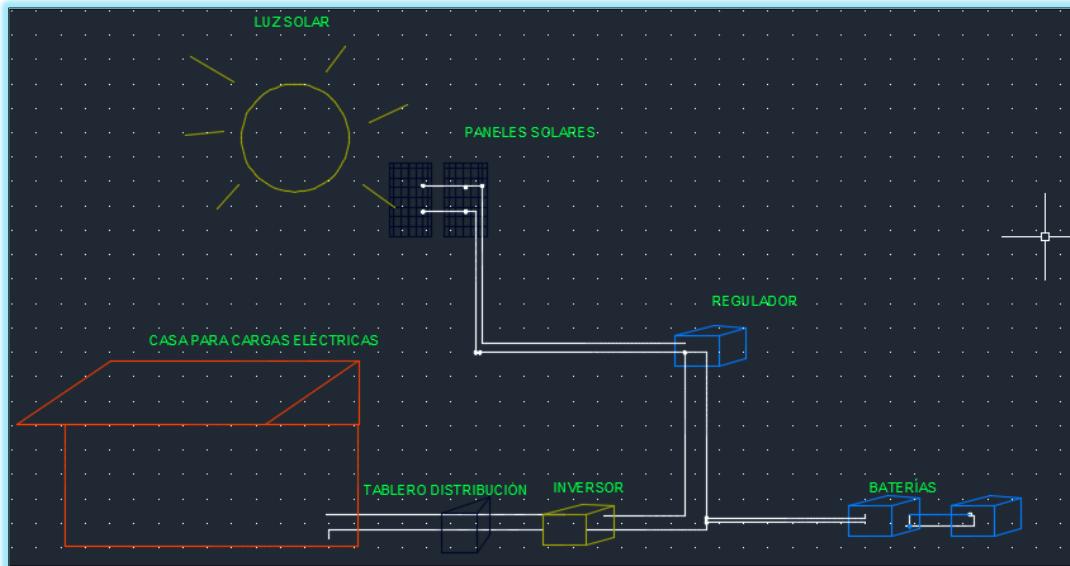


Figura 59. Elaboración propia

## 12.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA

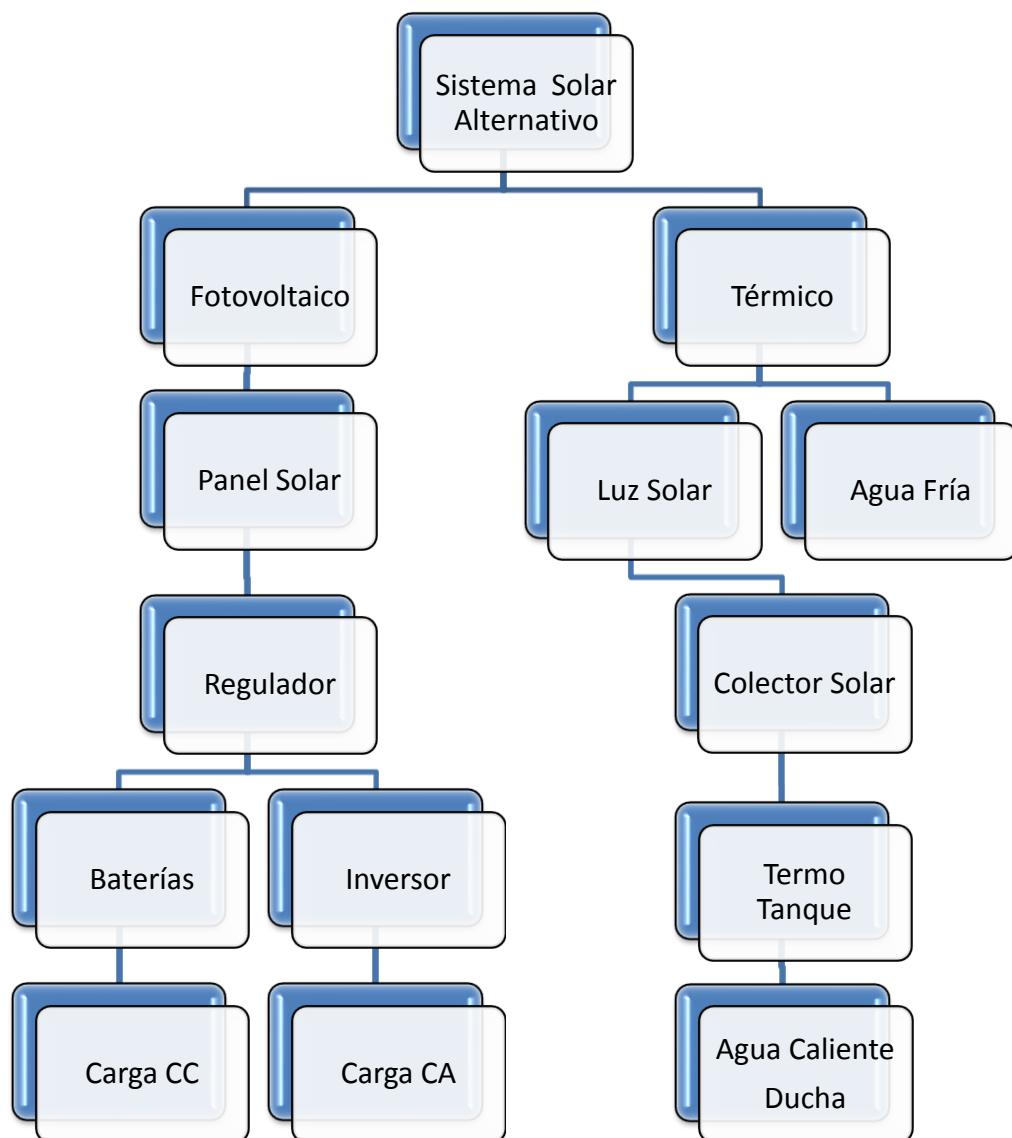


Figura 60. Elaboración propia

### 12.3 FASES SISTEMA FOTOVOLTAICO

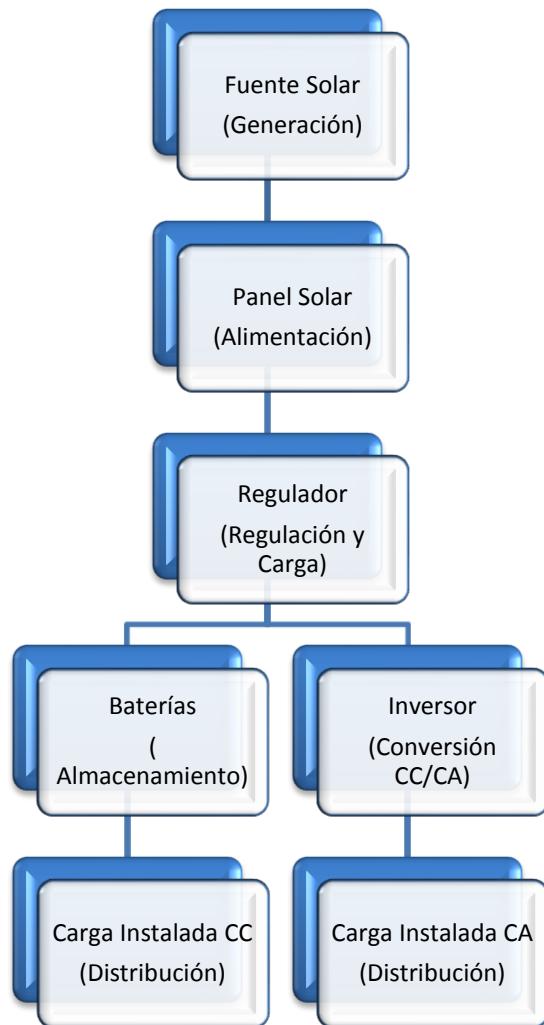


Figura 61. Elaboración propia

#### 12.4 Estructura Fotovoltaica General

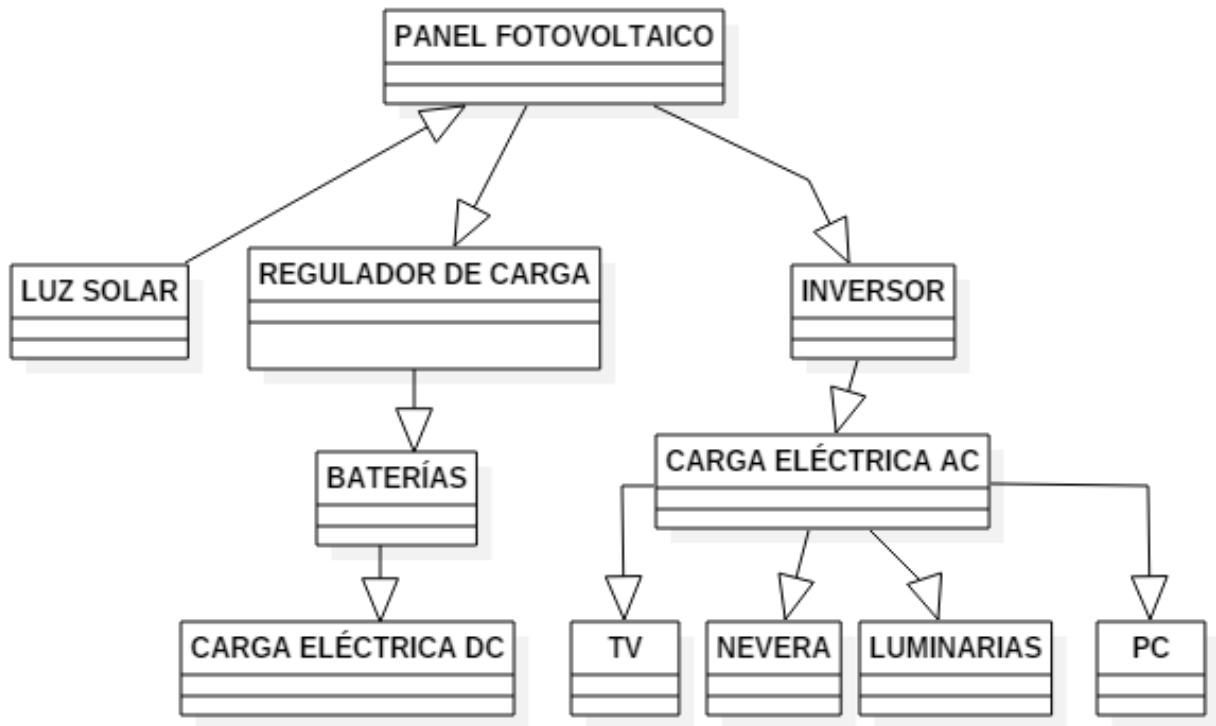


Figura 62. Elaboración propia

## 12.5 UML Sistema Térmico

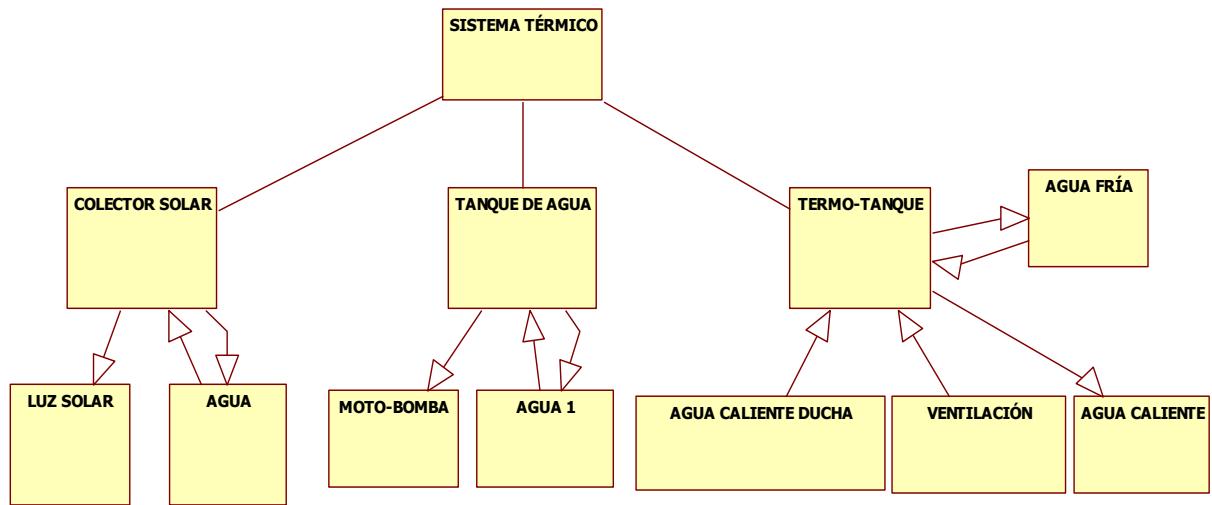


Figura 63. Elaboración propia

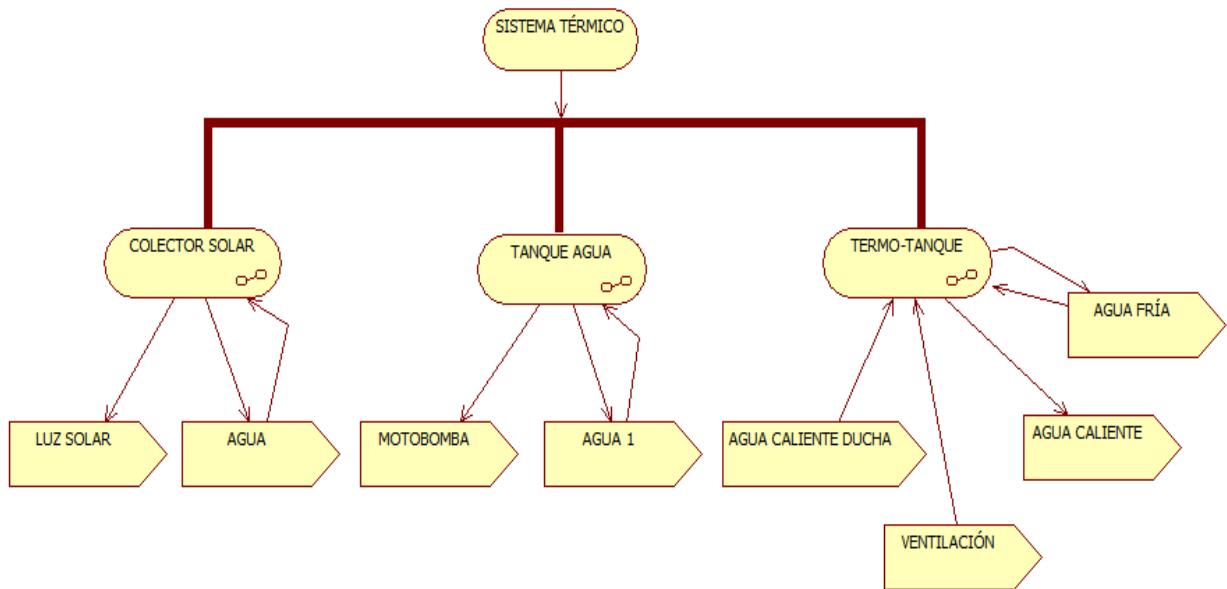


Figura 64. Elaboración propia

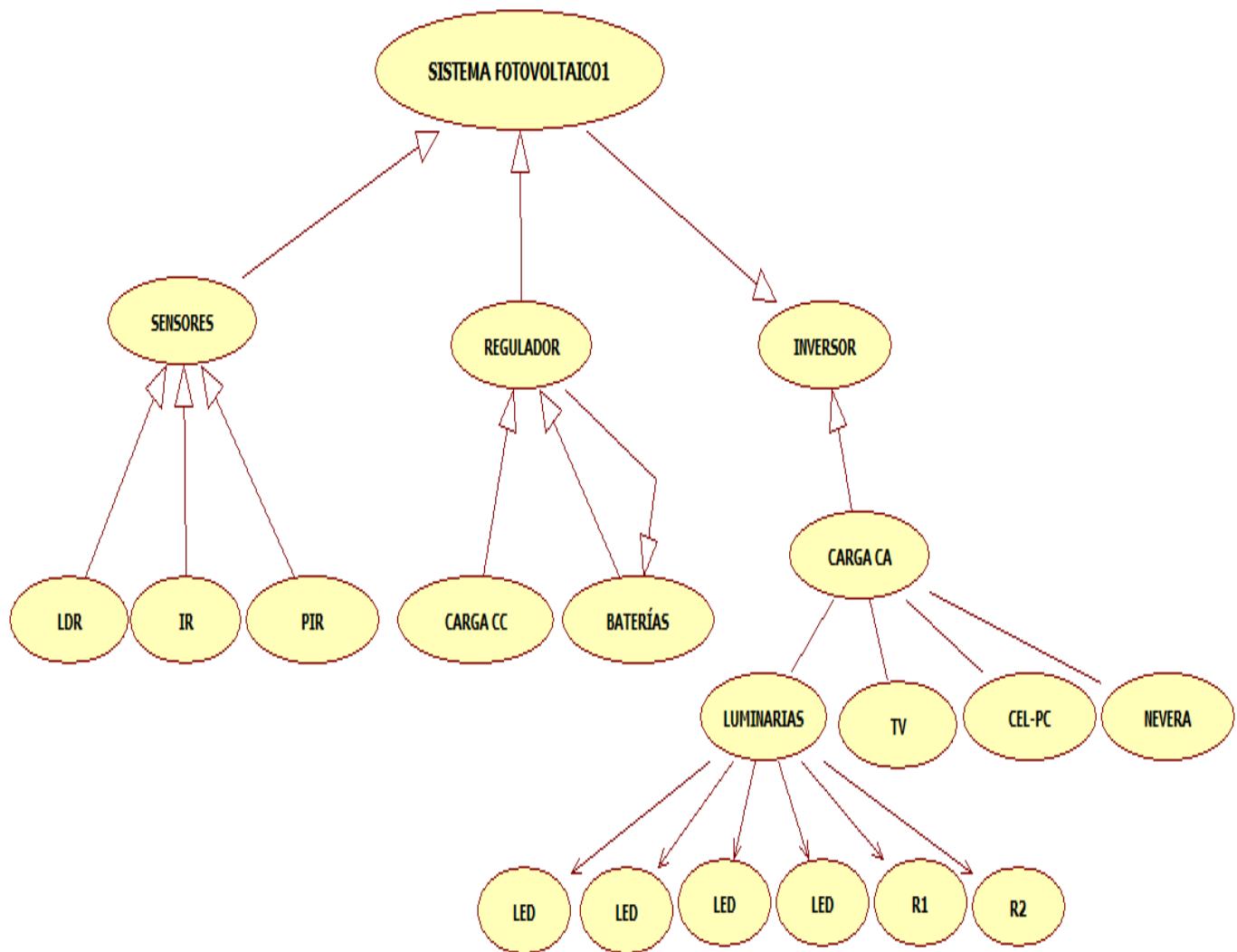
**12.6 UML Sistema Fotovoltaico**

Figura 65. Elaboración propia

## 12.7 DIAGRAMAS DE ACTIVIDADES SISTEMA

SENSORES

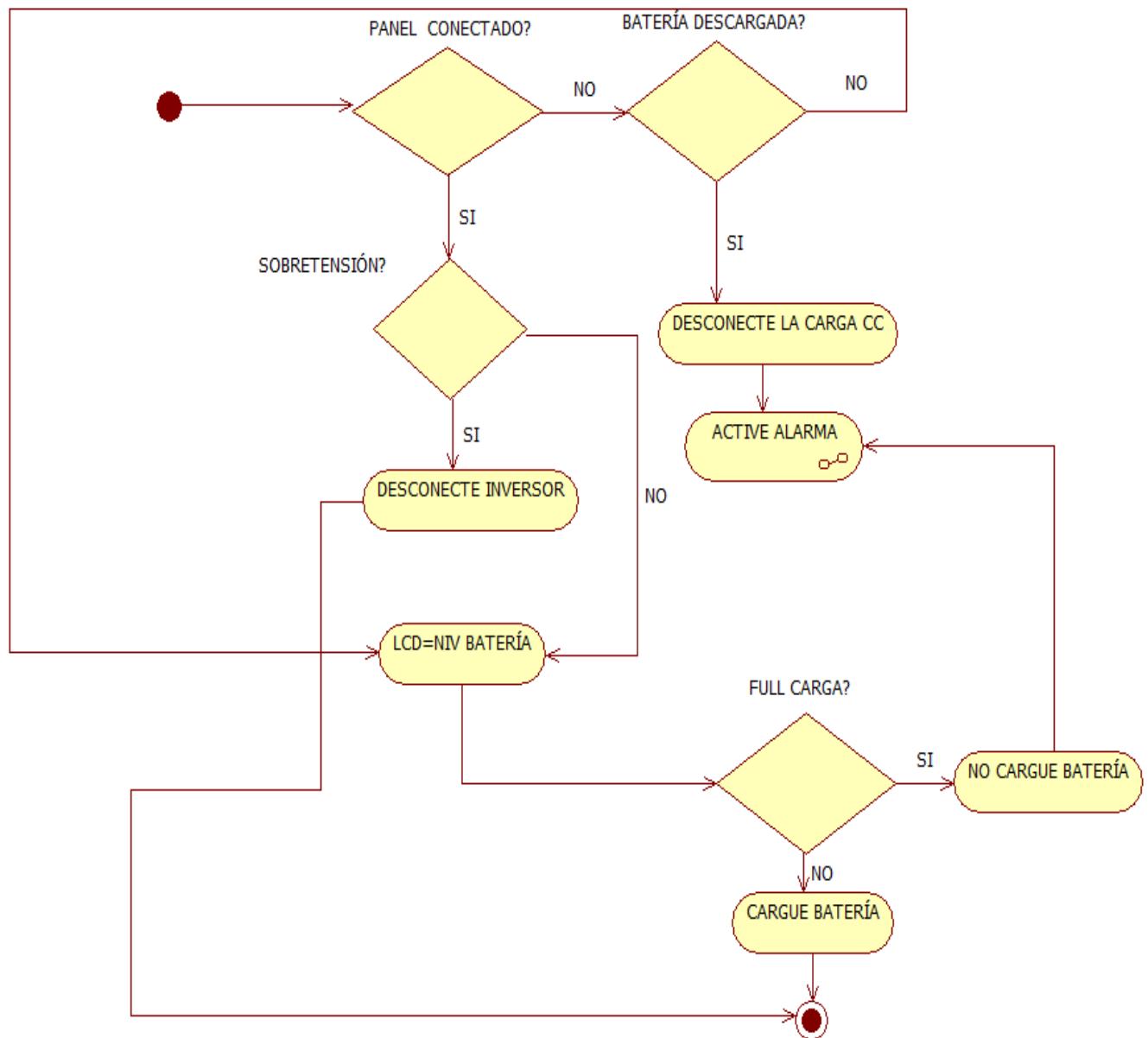


Figura 66. Elaboración propia

## 12.8 REGULADOR DE CARGA

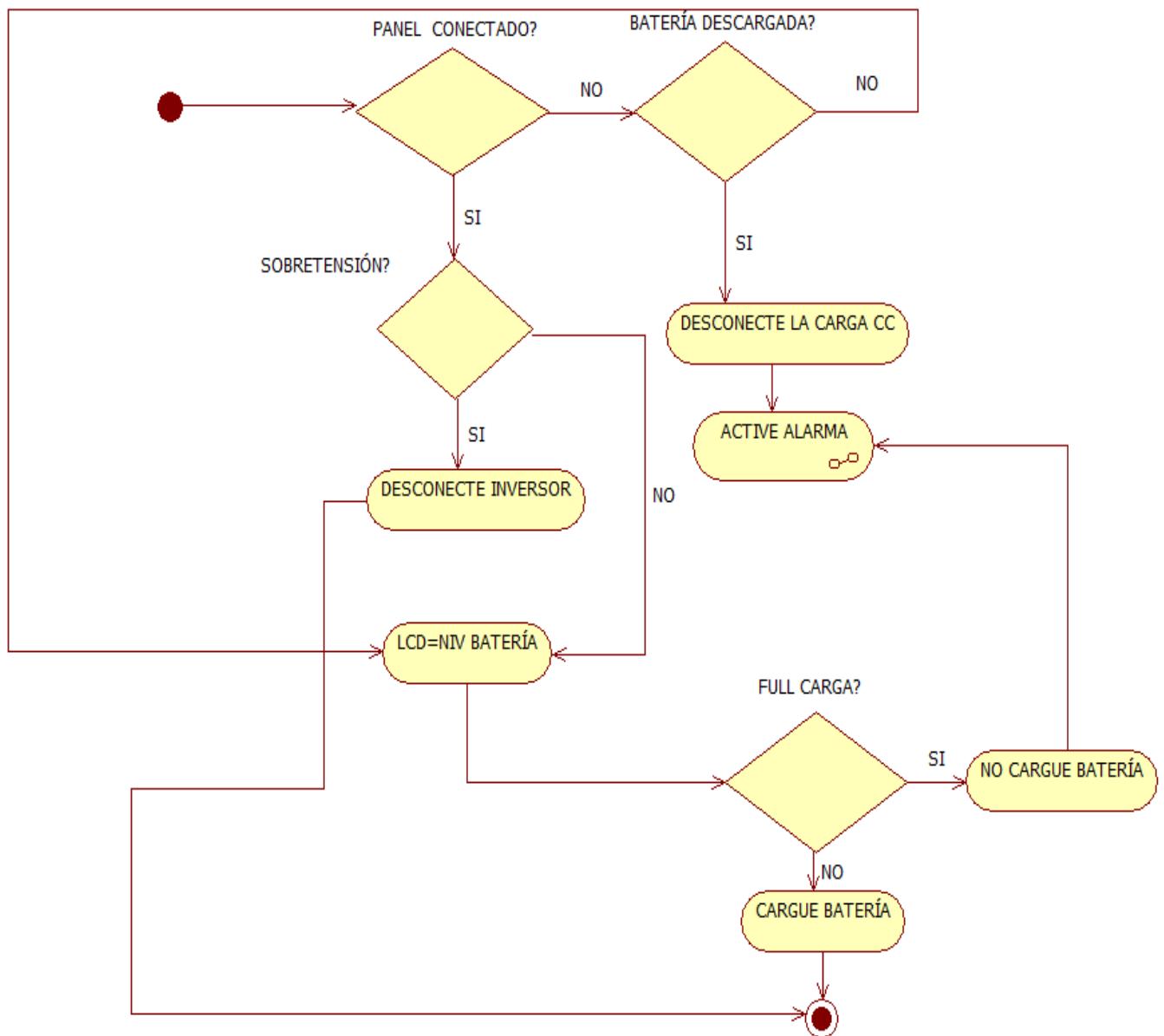


Figura 67. Elaboración propia

## 12.9 INVERSOR

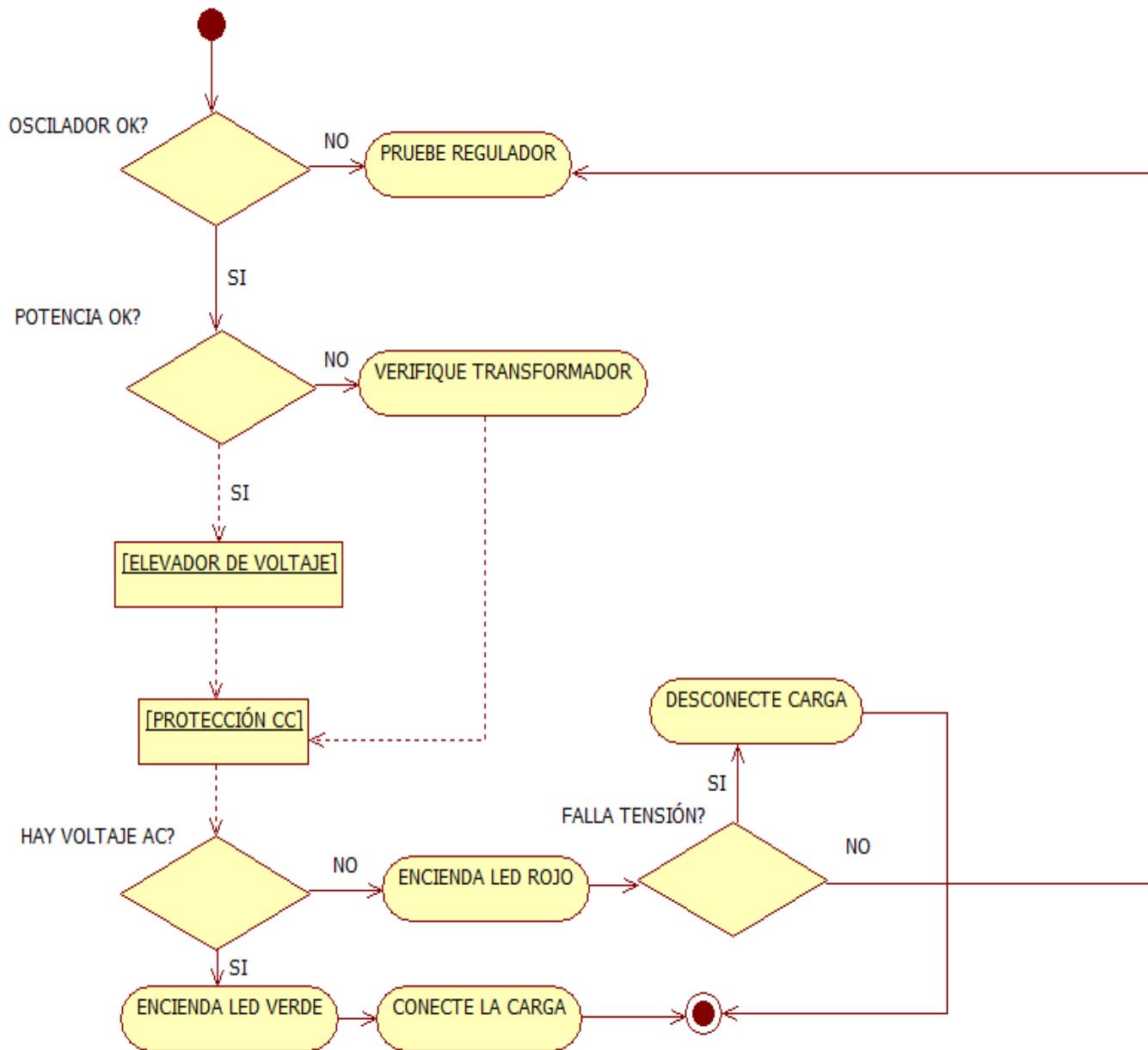


Figura 68. Elaboración propia

### **13. ENTREGABLES**

- ✓ Sistema Fotovoltaico.
- ✓ Sistema Térmico
- ✓ Inversor de CC / CA
- ✓ Sensor de aplausos y de control remoto

## 14. CONCLUSIONES

- En el diseño del calentador solar se logró hacer un buen uso de material recicitable que se encontraba abandonado en los linderos de la finca
- Las temperaturas alcanzadas en las pruebas del calentador fueron mejor de lo esperado alcanzando hasta 51 grados Celsius en días soleados y 24 en días nublados de poco sol
- El sistema de almacenamiento del temo-tanque es suficiente para el baño de 3 personas durante aproximadamente 2 días de autonomía.
- En el diseño del colector solar, se tuvo en cuenta tanto la ley de transferencia de calor, así como la ley de Boltzman que trata de la radiación en cuerpos negros, de esta manera se logró vislumbrar realmente el buen efecto y mayor radiación solar en las superficies negras, permitiendo una mejor conservación de la energía, aludiendo a la primera ley de la termodinámica. Es recomendable aplicar esmalte negro opaco en la superficie del cajón del colector y brillante a las botellas, mejorando el nivel de calor en el colector.
- Las botellas plásticas y la lámina de acrílico generan un buen efecto invernadero y mejoran la temperatura del agua durante el recorrido del colector
- En el diseño del inversor se tuvieron en cuenta diversos sistemas y se optimizaron los mismos, dejando varios prototipos a futuros trabajos, por tiempo no se alcanzó la fase de implementación motivo por el cual se optó por la compra del mismo para que el sistema quedara funcionando.
- En el diseño del regulador de carga debido a tiempo se compró por sus favorables costos en el mercado y por requerimiento esencial de funcionamiento del sistema fotovoltaico.

- En el diseño e implementación de los sensores se creyó pertinente uno de aplausos y uno a control remoto, debido a la mala ubicación de una luminaria del interruptor convencional, para practicidad y facilidad del usuario; estos sensores fueron rediseñados teniendo en cuenta alguna teoría básica y prototipos vistos en el mercado y en la red. Fue necesario primeramente la calibración del micrófono con un circuito sensor de audio y posteriormente si el montaje completo de las etapas del sensor de aplausos. Se encontró conveniente que para la temporización se requirió adicionar un CD4017, contador decimal para garantizar la activación por uno o varios pulsos, en este caso aplausos, dependiendo de las conexiones entre el reset y el pin de activación se logran estas modificaciones.
- Para el control de la alarma se instalaron: magnéticos, de movimiento, y de presencia para la seguridad de la casa rural.
- La implementación del sistema fotovoltaico a pequeña escala del presente trabajo, con dos paneles, deja la posibilidad de conectar dos paneles adicionales de 150 watts, ampliando la potencia de cubrimiento del sistema del inversor de 600 watts mejorando la capacidad de la carga conectada.
- Ambos sistemas térmico y fotovoltaico han mejorado la calidad de vida de los habitantes de la casa rural y han optimizado los recursos, haciendo uso de energías renovables, protegiendo el medio ambiente y un ahorro considerable en el caso del colector solar, evitando el uso de una ducha eléctrica que eleva el costo del recibo de luz.

## 15. TRABAJOS FUTUROS

Como continuación de este trabajo, se dejan algunas líneas de investigación y profundización, siendo objeto de estudio de posteriores tesis de grado. Entre las ideas generales de los futuros trabajos se encuentran:

- Construcción del inversor de corriente CC/CA
- Diseño y fabricación del regulador de carga con base en el diseño del sistema fotovoltaico desarrollado en este trabajo.
- Elaboración e implementación de un seguidor solar para los paneles solares
- Diseño de una interfaz y red de transferencia para interconectar el sistema junto con la red optimizando y ampliando la eficiencia del sistema fotovoltaico.
- Elaborar un control automatizado, mediante un microcontrolador para todos los sensores y la alarma

## 16. REFERENCIAS

Braude.2013. Metodología en cascada. Recuperado de <http://metodologiaencascada.blogspot.com.co/>

Camargo Macías, Auber Alonso. 2013. Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables pet y análisis comparativo con otros colectores. Pereira Colombia.

CENSOLAR. Curso de Proyectista Instalador de Energía Solar. Tomo 3. Pg. 3.2.1.2. España. 2008

Chamorro Vanegas Marleny.2015. Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de La Guajira-Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica. Vol. 13, N° 2, 54-63. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n2/v13n2a07.pdf>

El Nuevo día. 2017 mayo. “A Enertolima le interesan más sus negocios privados que el servicio de la energía”, recuperado de <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/tolima/regional/290524-a-enertolima-le-interesan-mas-sus-negocios-privados-que-el-servicio-de-la-ene>

Esto es sólo el principio: la energía solar y un pronóstico con todo a su favor. 2017. Disponible en <https://www.xataka.com/energia/los-11-graficos-que-demuestran-que-lo-de-la-energia-solar-es-imparable>

Generación. 2017. Se busca energía eficiente y limpia. Semana. Recuperado de <http://www.semana.com/economia/articulo/energia-los-180-proyecto-de-energia-renovable-en-colombia/515845>

González Espinoza, Leslie Yesseth.2014. Dimensionamiento de una red eléctrica domiciliaria respetuosa con el medio ambiente.

<http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/195394/MICROCHIP/PIC18F2550.html>

La historia de la energía solar fotovoltaica. Tomado de <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

M. A. Green, «Third generation photovoltaics: ultra-high conversion efficiency at low cost» *Progress in Photovoltaics; Research and Applications*, vol. 9, pp. 123-135, 2001.

Redacción Bilbo. 2017 febrero. El espectador. Recuperado de <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/la-granja-de-energia-solar-mas-grande-de-colombia-articulo-679075>

Redacción Economía y Negocios. 2017. Destinan \$12000 millones para energías renovables en Colombia. El Espectador. Recuperado de <http://www.elespectador.com/noticias/economia/destinan-12000-millones-energias-renovables-colombia-articulo-673077>

Rodríguez Murcia, Humberto.2008. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12>

Santa Marta, J. Las energías renovables son el futuro. 2004. Pág. 2

Toledo Arias, Carlos Alberto.2013 septiembre. Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia.

U. -. IDEAM, «Unidad de Planeación Minero-Energética e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2010

Yepes, Carlos. Director del Centro de Ciencia y Sensibilización Ambiental 2017. Portafolio. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/infraestructura/colombia-realizara-primer-feria-sobre-energia-solar-505758>

## 17. BIBLIOGRAFIA

Alonso Abella, M.: "Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica". Ed. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L., ISBN: 84-86913-09-8

Camargo Macías, Auber Alonso. Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables pet y análisis comparativo con otros colectores. Pereira Colombia.2013

Gálviz Garzón, Jhon Sebastián; Gutiérrez Gallego, Robinson. "Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en Nazaret corregimiento del municipio de Uribía, departamento de la guajira – Colombia" (. Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 2014)

IDAE. "Manuales de Energías Renovables / 6. Energía Solar Fotovoltaica", Ministerio de Industria, Comercio y Consumo, Madrid, 1992. ISBN 84-8036-052-6

Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltaicas, Progensa, 1998.

Pérez, Luis. "Manual para el cálculo de y diseño de calentadores solares". Cuba. 2008. ISBN 978-959-7113-36-2

Rodríguez, Idaria Sabina. "Instalación Eléctrica con Fotovoltaica en Candelaria". España. Marzo 2017

Toledo Arias, Carlos Alberto. "Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia". Cartagena-Colombia. 2013.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### CODIGO PIC 18F2550

Ejemplo del código en C para MPLab X:

```
#include <p18F2550.h>
#include <delays.h>
#include <pwm.h>
#include <delays.h>
#include <timers.h>
#include <pwm.h>
void main(void)
{
    unsigned char dc;
    TRISC = 0;           // set PORTC as output
    PORTC = 0;           // clear PORTC
    PR2 = 0b00011000;
    T2CON = 0b00000101;
    CCP2CON = 0b00011100;
    CCPR2L = 0b00001100;
    For (;;) {
```

{

For (dc = 0; dc < 128; dc++)

{

CCPR1L = dc;

CCPR2L = 128 - dc;

Delay10KTCYx (10);

}

For (dc = 127; dc > 0; dc--)

{

CCPR1L = dc;

CCPR2L = 128 - dc;

Delay10KTCYx (10);

}

}

{

## ANEXO B

Fotos pruebas de temperatura sistema térmico



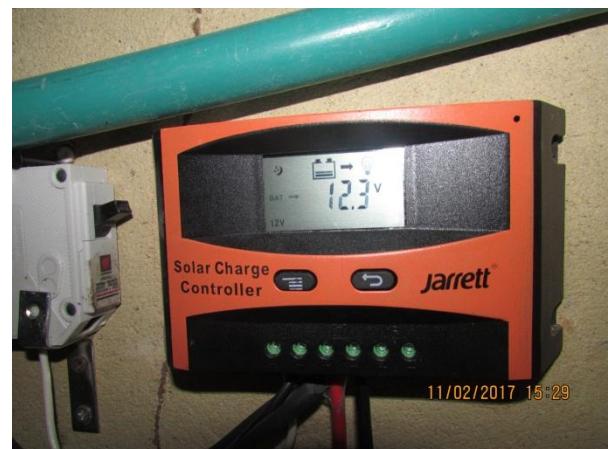






## ANEXO C

Fotos sistema fotovoltaico



Voltaje salida de los paneles solares

Nivel de carga de las baterías



Registros del regulador de carga, volaje baterias y temperatura

## GLOSARIO

**Batería Solar:** Consta de una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad.

**Celda Solar:** también conocida como célula solar, produce electricidad mediante un principio foto electroquímica, transformando la energía lumínica en energía eléctrica.

**Colector Solar:** dispositivo diseñado para captar la energía solar y convertirla en energía térmica aprovechando el calor.

**Regulador de tensión:** controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para prolongar su vida útil.

**Energía Limpia:** Energía que no genera residuos, no contamina.

**Energía Solar Fotovoltaica:** Es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos o comúnmente llamados paneles solares.

**Energía Solar Térmica:** Consiste en el aprovechamiento de la energía Solar para transferirla a un medio portador de calor, que puede ser agua o aire.

**Inversor:** Es un convertidor que transforma la energía de corriente continua procedente del generador fotovoltaico en corriente alterna. Estos se subdividen en inversores aislados e inversores conectados a la red.

**Panel solar:** Convierte la energía solar en eléctrica (corriente continua), transformando los fotones provenientes del sol en electricidad. Almacena energía eléctrica al absorber la luz del sol.

**Regulador solar:** Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas.