



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO SOLAR
FOTOVOLTAICO, PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO MÁXIMO DE
POTENCIA DE CARGA, MEDIANTE EL USO DE
MICROCONTROLADORES E INTERFAZ CON ORDENADOR.**

AUTOR:

CEBALLOS MONTENEGRO, JONATHAN ANDRÉS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

GUAYAQUIL, ECUADOR

20 DE MARZO DEL 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**.

TUTOR

f. _____
Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 20 días del mes de marzo del año 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño e implementación de un módulo solar fotovoltaico, para la determinación del punto máximo de potencia de carga, mediante el uso de microcontroladores e interfaz con ordenador**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de marzo del año 2017

EL AUTOR

f. _____

Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño e implementación de un módulo solar fotovoltaico, para la determinación del punto máximo de potencia de carga, mediante el uso de microcontroladores e interfaz con ordenador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de marzo del año 2017

EL AUTOR

f. _____

Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés

REVISIÓN URKUND

URKUND

Documento: [ceballos_tesis_completa.docx](#) (D26061145)

Presentado: 2017-02-27 17:03 (-05:00)

Recibido: eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: tesis para revisión [Mostrar el mensaje completo](#)

2% de esta aprox. 33 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 5 fuentes.

Lista de fuentes / frente Mendoza Merchán (eduardo.vicente.mendoza.merchan)

Bloques

- <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1...>
- <http://www.iner.ec/congreso/images/documentos/Ar...>
- <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/tr...>
- <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/a...>
- <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/...>

Fuentes alternativas

- [PLUAS-JARAMILLO capitulo 1.docx](#)
- [caratula.docx](#)
- [report case.doc](#)

95% # 1 Activo

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TEMA:

Diseño e implementación de un módulo solar fotovoltaico, para la determinación del punto máximo de potencia de carga, mediante el uso de microcontroladores e interfaz con ordenador.

AUTOR: Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés

Trabajo de titulación

previo a la obtención del grado de Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo

TUTOR:

Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

Guayaquil, Ecuador 3 de marzo del 2017

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por

Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés,

como requerimiento para la obtención del Título de Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo.

Archivo de registro Urkund: Universidad Católica de Santiag... 95%

1 Advertencias. Reiniciar. Exportar. Compartir.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su apoyo en cada etapa de mi vida y por brindarme todas las facilidades necesarias para seguir una carrera de mi elección.

A mi tutor, Eduardo Mendoza, por los conocimientos que me ha compartido a lo largo de mi carrera universitaria y por su fundamental apoyo en este presente trabajo de titulación.

Jonathan Ceballos

DEDICATORIA

A Denisse, las palabras nunca serán suficiente para expresarte lo agradecido que estoy por tenerte a mi lado, me demostraste que junto a la persona indicada, el crecimiento y las metas personales jamás serán consideradas un trabajo o un sacrificio, sino una aventura que deseas que jamás termine; llegaste en el momento indicado y te quedaste para siempre a mi lado.

Jonathan Ceballos



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

TUTOR

f. _____

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

COORDINADOR DE AREA DE ELECTRÓNICA

ÍNDICE GENERAL

Introducción	2
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES.....	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Justificación	4
1.3 Delimitación	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Metodología de investigación	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Estado del arte	9
2.1.2 “Diseño e implementación de controladores análogos para un seguidor solar”	9
2.1.3 “Sistema de energía solar fotovoltaica aplicado a viviendas residenciales en entorno urbano”	9
2.1.4 “Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala”	10
2.1.5 “Diseño de un seguidor de punto máximo de potencia”	10
2.1.6 “Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Viviendas del Ecuador”	11
2.1.7 “Seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) en paneles solares”	11
2.1.8 “Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico”	12
2.1.9 “Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable”	12
2.1.10 “¿Es posible la Grid Parity en Ecuador?”	13

2.1.11 “Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador”	13
2.2 Principios de Energía Solar	13
2.2.1 La energía del sol	14
2.2.2 Radiación solar.	15
2.2.3 Radiación solar en Ecuador	18
2.3 Panel fotovoltaico	20
2.3.1 Características	20
2.3.2 Clases de paneles fotovoltaicos.....	23
2.3.3 Posicionamiento de un panel solar fotovoltaico	23
2.4 Seguidor solar.....	26
2.4.1 Características	26
2.4.2 Clasificación según el tipo de movimiento	26
2.4.3 Clasificación según el tipo de algoritmo de seguimiento.....	27
2.5 Sistemas de control basados en Microcontroladores	27
2.5.1 Microcontrolador	28
2.5.2 Componentes de un microcontrolador	29
2.5.3 Proceso de Desarrollo	30
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DEL MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO	33
3.1 Descripción general del módulo solar fotovoltaico.....	33
3.1.1 Descripción del proyecto.....	33
3.1.2 Características del prototipo	34
3.1.3 Funciones del Proyecto	35
3.1.4 Diagrama de Flujo.....	36
3.2. Análisis y descripción del diseño del prototipo de seguidor solar.	38
3.2.1 Paneles solares	38
3.2.2. Sensores y actuadores	39

3.2.3 Sistema de control	44
3.3 Análisis de la estructura base del prototipo	49
3.4. Análisis del diseño de la interfaz de usuario	49
3.4.1 Descripción de la interfaz.....	49
3.4.2. Análisis de la comunicación desde el microcontrolador	52
3.4.3 Análisis de la interfaz en el ordenador	53
3.5. Diseño de placa PCB.....	54
3.5.1 Diseño de PCB en Proteus	54
3.5.2 Componentes soldados en la placa	55
3.6 Pruebas de prototipo	57
3.7 Calculo de costos	60
CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1 Resultado del diseño y análisis del prototipo desarrollado	62
4.1.1 Sistema mecánico y físico	62
4.1.2 Sensores y actuadores	63
4.1.3 Sistema de control	64
4.1.4 Interfaz del usuario	64
4.2 Análisis de las pruebas de prototipo	64
4.2.1 Análisis de las características del sistema	64
4.2.2 Análisis de las funciones del sistema.....	65
4.2.3 Análisis general del sistema.....	66
4.3 Cumplimiento de los objetivos	69
4.3.1 Objetivos específicos	69
4.3.2 Objetivo general.....	69
4.4 Análisis de la metodología.....	70
4.4.1 Análisis de la metodología y el tipo de investigación implementadas.....	70

4.4.2 Análisis de la hipótesis.....	71
4.4.3 Análisis de la solución del problema	71
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1 Conclusiones	72
5.2 Recomendaciones.....	72
5.3 Trabajo futuro	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS.....	78
ANEXO A: Hoja de datos del PIC16F887 de Microchip.....	79
ANEXO B: Hoja de datos del panel solar SL010-12P.....	82
ANEXO C: Hoja de datos del sensor de corriente ACS712	83
ANEXO D: Hoja de datos del servomotor MG996R.....	87
ANEXO E: Diseño de placa realizado en Proteus.....	89
ANEXO F: Diseño esquemático realizado en Proteus	90
ANEXO G: Diseño de interfaz de usuario realizada en LabView	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2. 1: Piranómetro	15
Figura 2. 2: Espectro solar	17
Figura 2. 3: Insolación difusa promedio en Ecuador	19
Figura 2. 4 Insolación directa promedio en Ecuador.....	19
Figura 2. 5: Insolación global promedio en Ecuador	20
Figura 2. 6: Elementos de protección de un panel solar	21
Figura 2. 7: Orientación de un panel fotovoltaico.....	24
Figura 2. 8: Comparativa entre latitud de lugar y ángulo según la estación. 25	
Figura 2. 9: Microcontrolador	28
Figura 2. 10: Componentes de un microcontrolador	29
Figura 2. 11: Diagrama de desarrollo de software	31
Figura 2. 12: Diagrama de desarrollo de software	31

Capítulo 3

Figura 3. 1: Diagrama de flujo del prototipo	37
Figura 3. 2: Esquema de conexiones para servomotores.....	41
Figura 3. 3: Esquema de conexiones para las LDR.....	42
Figura 3. 4: Esquema de conexiones para ACS712.	43
Figura 3. 5: Componentes de la tarjeta de adquisición de datos.	45
Figura 3. 6: Pic 16F887.....	46
Figura 3. 7: Esquema de conexiones del microcontrolador 16F887.	47
Figura 3. 8: Tarjeta de adquisición de datos	47
Figura 3. 9: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control ...	48
Figura 3. 10: Interfaz realizada en LabView.....	50
Figura 3. 11: Conector USB a TTL.....	52
Figura 3. 12: Trama de la comunicación serial	53
Figura 3. 13: Diseño de PCB.	54
Figura 3. 14: Simulación con componentes.....	56

Figura 3. 15: Prueba del panel solar.....	57
Figura 3. 16: Programación de prueba del servomotor.....	58
Figura 3. 17: Programación para prueba de LDR	59
Figura 3. 18: Prueba de interfaz.....	60

Capítulo 4

Figura 4. 1: Unión de servomotor con eje del panel.....	62
Figura 4. 2: Interfaz de usuario en ejecución.	67
Figura 4. 3: Grafica comparativa de la producción de los paneles.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3

Tabla 3.1: Principales componentes del prototipo.	35
Tabla 3.2: Características del panel solar	39
Tabla 3.3: Características del servomotor	40
Tabla 3.4: Lista de componentes de la placa.....	45
Tabla 3.5. Lista de gastos realizados en el trabajo de titulación.....	60

Resumen

El presente trabajo de titulación está enfocado al análisis, diseño e implementación de un prototipo para la determinación del punto de potencia máxima en paneles solares, utilizando para su control un sistema basado en microcontroladores y una interfaz en un computador. Gran parte de los objetivos se logran debido a la incorporación de un microcontrolador, que permite obtener un control automático del reposicionamiento del panel solar, en base al mayor punto de intensidad lumínica y así alcanzar el punto máximo de potencia que puede ofrecer el panel solar en cualquier instancia del día, este proceso se visualizará mediante el uso de una interfaz de usuario desarrollada en LabView. Las metodologías aplicadas fueron la bibliográfica, donde se revisaron y analizaron fundamentos teóricos acerca de la energía solar fotovoltaica y sobre los diferentes métodos de desarrollo de seguidores solares existentes, lo cual fue comprobado mediante la experimentación, que contó con pruebas de funcionamiento de cada uno de los componentes del módulo solar fotovoltaico, así como el correcto funcionamiento del sistema de control. Debido a la realización de este trabajo se pudo determinar que el uso de sistemas de control mediante la aplicación de microcontroladores es de gran beneficio para sistemas fotovoltaicos debido a la optimización ofrecida con respecto a energía producida.

Palabras claves: ELECTRÓNICA, AUTOMATISMO, SEGUIDOR SOLAR, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA, PANEL SOLAR.

Abstract

This degree work is focused on the automatization and electronics implementation in the photovoltaic solar energy, with the aim of providing a solution for the optimization of the total energy produced by solar panels. It is achieved due to the incorporation of a microcontroller to get an automatic control of the repositioning of the solar panel, based on the greater point of intensity light and thus reach the maximum point of power that can offer the panel solar in any instance of the day, this process is displayed through the use of an interface of user developed in LabView. The methodologies applied were the bibliographic, where we reviewed and analyzed theoretical basics about photovoltaics solar energy and the different methods of development of existing trackers, which was proven by experimentation, with performance tests of each of the components of the photovoltaic solar module, as well as the proper functioning of the control system. The development of this work determined that the use of control through the application of microcontroller systems is of great benefit for photovoltaic systems due to the optimization offered with respect to energy produced.

Key words: AUTOMATION, SOLAR ENERGY, ELECTRONICS, SOLAR TRACKER, MAXIMUM POWER POINT TRACKING

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables se están abriendo paso a nivel mundial, siendo la primera opción de generación de energía en países desarrollados, llegando a incluirla como requisito necesario para la construcción de edificios de determinadas características y se han incluido en países en vía de desarrollo como el nuestro, la energía solar fotovoltaica es la energía renovable de mayor implementación y uso a nivel global y debido a la ubicación geográfica del Ecuador, es un campo que puede llegar a ser explotado y obtener grandes beneficios a partir del uso de la misma.

En la actualidad ya existen instalaciones solares fotovoltaicas en el Ecuador, tanto a nivel industrial para la generación y venta de energía eléctrica, así como a nivel de consumo personal, aplicando el uso de paneles solares en los domicilios. Sin embargo no es aplicada por un gran sector de la población debido al alto costo que tienen los equipos y componentes necesarios para su instalación, y la rentabilidad de la misma. La rentabilidad se basa en cuanto tiempo debe transcurrir para que se recupere el valor inicial invertido en la instalación, en base a la energía eléctrica producida a partir de una instalación fotovoltaica

En Ecuador la rentabilidad es un gran problema debido a que en una instalación solar fotovoltaica promedio en un domicilio, la rentabilidad se puede lograr luego de 10 a 12 años transcurridos después de dicha instalación. Sin embargo estos cálculos se toman únicamente con la instalación estándar de los paneles fotovoltaicos, es decir, sin aplicar ningún método de automatización para la búsqueda del punto máximo de potencia. El cual de ser aplicado de manera correcta, logrará producir más energía sin necesidad de aumentar la cantidad de paneles solares.

En el presente trabajo de titulación se plantea brindar una solución que logre aumentar la eficiencia de los paneles solares, de esta manera se decide desarrollar como trabajo de titulación un módulo solar fotovoltaico cuyo objetivo principal será desarrollar un sistema para determinar el punto máximo de potencia solar en paneles fotovoltaicos, a través de un sistema basado en microcontroladores e interfaz con ordenador, que permita experimentar con algoritmos y secuencias en la búsqueda de la máxima eficiencia en energía fotovoltaica.

En este documento se encuentra detallado todo el proceso que conllevó el desarrollo del módulo solar fotovoltaico automatizado, el cual contará con una interfaz de usuario que permitirá seleccionar el método con el que trabajará cada panel solar y a su vez realizará una recopilación los datos obtenidos del panel solar como lo son el voltaje y la corriente. Adicional genera constantemente una gráfica en tiempo real de dichos datos recopilados, y al final se podrá realizar una gráfica comparativa entre ambos resultados y obtener el porcentaje de optimización de un método frente al otro.

Del trabajo de titulación se puede concluir la efectividad que poseen los seguidores solares al optimizar el punto máximo de potencia solar que tienen los paneles fotovoltaicos automatizados, aumentando su porcentaje de eficiencia y por lo tanto generando una mayor cantidad de energía.

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del problema.

La energía solar fotovoltaica siendo una gran opción como energía renovable emergente en nuestro país, es un campo muy amplio para investigar y explorar, que abarca desde los distintos tipos de elementos utilizados hasta como mejorar la eficiencia de los sistemas de energía solar fotovoltaica. La eficiencia máxima que se puede obtener de este tipo de instalaciones es un tema al cual no se le ha dado la importancia que se merece y por lo tanto no se está obteniendo todo el beneficio que este tipo de sistemas podría permitir.

En las instalaciones solares fotovoltaicas que se encuentran dentro del Ecuador no se realizan métodos experimentales, para determinar constantemente la posición más idónea de los paneles solares para alcanzar una máxima captación de la energía. Dicho problema no cuenta con una solución inmediata dentro del país debido al elevado costo que conllevaría aplicar la electrónica para obtener un sistema inteligente y a su vez la falta de conocimiento de parte del consumidor final.

1.2 Justificación

En el ámbito científico, el desarrollo de este proyecto de investigación, permitirá disponer de una herramienta para investigar cómo obtener el máximo de eficiencia posible de un módulo solar fotovoltaico mediante distintos métodos y uso de algoritmos, determinando así que proceso o método será el que brinde una mayor cantidad de energía en un tiempo determinado y así mismo se podrá ver que método tendrá un mayor consumo de energía para su funcionamiento.

En el ámbito profesional, este trabajo brindará aportes prácticos y aplicables a nuestra ciudad para lograr un aumento en la energía recolectada

por las instalaciones fotovoltaicas sin la necesidad de incrementar la cantidad de paneles solares.

En el ámbito académico, el proyecto de investigación tiene la importante misión de convertirse en un aporte fundamental para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, debido a que servirá como material práctico para las futuras clases a dictarse en las clases con relación a la energía solar fotovoltaica, así como a la nueva maestría que se espera impartir en la facultad.

1.3 Delimitación

Este proyecto de investigación se orienta al área de la energía solar fotovoltaica y la máxima eficiencia que se puede obtener de la misma, el periodo de elaboración del proyecto es reducido, debido a que el mismo comienza al iniciar el periodo académico B 2016 y termina al llegar la fecha límite para la entrega del proyecto, la cual es el 20 de febrero del 2017. El proyecto llegará hasta la fase de implementación de un prototipo que servirá como material practico en las siguientes clases con relación a la energía renovable, dictadas en las instalaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

El proyecto constará de un prototipo de un módulo solar fotovoltaico de dos paneles solares con sus respectivos servomotores que permitirán la rotación de los paneles solares, adicionalmente contará con 2 fotorresistencias en cada panel solar que cumplirá la función de seguidor solar, todo esto será controlado por un microcontrolador previamente programado el cual se encargará de la parte electrónica; los datos se enviarán a un ordenador mediante una interfaz desarrollada para este proyecto.

1.4 Objetivos

A continuación, se detallarán los objetivos planteados para el presente trabajo de titulación, tanto el objetivo general como los objetivos específicos, con la intención de brindar una solución al planteamiento del problema y a su vez demostrar la hipótesis que se detallará en el siguiente punto.

1.4.1 Objetivo general

- Desarrollar un sistema para determinar el punto máximo de potencia solar en paneles fotovoltaicos, a través de un sistema basado en microcontroladores e interfaz con ordenador, que permita experimentar con algoritmos y secuencias en la búsqueda de la máxima eficiencia en energía fotovoltaica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Elaborar un seguidor de punto de máxima potencia que permita evaluar algoritmos y secuencias predeterminadas en paneles móviles.
- Desarrollar una interfaz de usuario en un ordenador con el sistema de seguimiento solar, para adquisición y procesamiento de la información.
- Evaluar el sistema de búsqueda de potencia máxima, con algoritmos definidos, para identificar las ventajas y desventajas que posee cada uno de ellos.

1.5 Hipótesis

Guayaquil es una ciudad que recibe una muy alta cantidad de irradiación solar como se puede observar en su atlas solar y en base a esa información recopilada se realizará los análisis y diseños de distintos métodos, mediante

los cuales se calculará la máxima optimización de un panel fotovoltaico, y se podrá comparar, y a su vez mediante el respectivo análisis, determinar cuál método es el más eficiente al momento de realizar el muestreo. Cabe recalcar que se debe considerar que se contará con la presencia de días nublados lo cual podrá producir una variación en el grado de eficiencia de los métodos aplicados al seguidor de punto máximo de potencia.

La comparación de los métodos implementados a un seguidor de punto máximo de potencia, adaptado al panel fotovoltaico para permitir la optimización del mismo, podrá darse gracias a la recopilación de datos mediante el uso de microcontroladores y una interfaz en el computador y a su vez se procederá a el análisis debido de ventajas y desventajas que posee cada uno de los métodos a implementar. Con dicha información ya detallada y a la mano se podrá proceder a realizar las propias conclusiones del proyecto en el cual se determinará cuál será el método más eficiente al momento de buscar el constante punto máximo de potencia en el módulo fotovoltaico.

Como hipótesis del proyecto se plantea que:

“Con el uso de seguidores solares se incrementará en un 20% la energía total recolectada por los paneles solares fotovoltaicos.”

1.6 Metodología de investigación

El tipo de investigación que se utilizará en el proyecto de titulación es correlación con enfoque cuantitativo debido a que el resultado será basado en estadísticas con variables físicas y cuantificables. Los métodos utilizados son: bibliográfico y experimental.

El primer método se ha visto necesario utilizarlo debido a que permitirá recopilar la información necesaria para poder adaptarlo al estado del arte y a su vez realizar un correcto marco teórico. El segundo método se lo consideró

necesario para el diseño de modelos de optimización y la elaboración de un seguidor de punto máximo de potencia.

En base a las metodologías utilizadas y al tipo de investigación, se ha propuesto un diseño de investigación que tendrá de forma breve, los siguientes pasos:

- Búsqueda bibliográfica de artículos científicos relacionados al proyecto.
- Investigación de los fundamentos teóricos relacionados a los temas desglosados del proyecto de titulación.
- Diseño de modelos para la optimización del panel fotovoltaico mediante el uso de algoritmos y microcontroladores.
- Diseño de interfaz con ordenador para el envío de información.
- Elaboración del prototipo del módulo solar fotovoltaico.
- Pruebas de modelos de optimización en el prototipo.
- Evaluación de optimización de cada uno de los modelos.
- Análisis y comparación de resultados obtenidos de cada modelo de optimización.
- Análisis económico.
- Resultados y conclusiones.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Con el objetivo de recopilar información de referencias actuales relacionadas al tema de titulación, se ha procedido a buscar y leer una gran cantidad de contenido bibliográfico proveniente principalmente de otros trabajos de titulación y artículos científicos, debido al peso académico que poseen cada uno de ellos.

A continuación se mostrarán trabajos entre los cuales se podrá apreciar trabajos nacionales, así como artículos obtenidos de otros países. Se enlistará cada uno de los trabajos y se desarrollará un resumen de cada uno de los trabajos seleccionados.

2.1.2 “Diseño e implementación de controladores análogos para un seguidor solar”

El propósito de este trabajo es diseñar e implementar controladores análogos en un panel fotovoltaico para realizar un seguimiento correcto del sol, con el objetivo de poder obtener la mayor cantidad de radiación a lo largo del día. Como resultados se aprecia que los tres controladores realizan el seguimiento que se ha propuesto. El controlador on-off muestra el menor tiempo de respuesta, pero a su vez, un mayor error de estado estacionario. A su vez el compensador y el controlador proporcional presentan comportamientos muy similares, sin embargo el compensador presenta un tiempo menor en la respuesta, a diferencia del controlador proporcional. (Espitia, H. Sierra, F., 2013).

2.1.3 “Sistema de energía solar fotovoltaica aplicado a viviendas residenciales en entorno urbano”

El objetivo principal es exponer las diferentes tecnologías que actualmente hay a la disposición del público en lo que respecta a sistemas fotovoltaicos,

enfocados al uso de viviendas residenciales en un entorno urbano. Para este trabajo se utiliza el método de investigación aplicada para el desarrollo del trabajo. Los resultados obtenidos son las ventajas que muestra la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios residenciales debido a que sería un soporte extra para solventar las necesidades de consumo eléctrico de los edificios. Como conclusión se puede observar lo importante que es un cambio de generación de energía eléctrica en edificios pasando del uso exclusivo de recursos fósiles a energías renovables, lo cual creará un impacto positivo en el medio ambiente (Sánchez, 2010).

2.1.4 “Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala”

El propósito de este artículo, según Ortiz es responder a la incógnita acerca de si es viable la instalación y a su vez su aprovechamiento de un sistema solar fotovoltaico de baja escala en Bogotá. Para este artículo se utiliza un método investigativo y así lograr obtener la información deseada. Los resultados obtenidos muestran que por el punto de vista técnico no hay ningún impedimento para su realización, pero el lado económico no es tan positivo debido a los altos costos de adquisición e instalación de este tipo de sistemas. Como conclusión que muy marcado el deseo de lograr una pronta reducción de los costos totales de los sistemas fotovoltaicos y así estimular su uso (Ortiz, 2013).

2.1.5 “Diseño de un seguidor de punto máximo de potencia”

El objetivo principal es describir el funcionamiento, características y la implementación de un seguidor de punto máximo de potencia (MPPT) para paneles solares. El método utilizado para este artículo es el desarrollo investigativo debido a que no hay aportaciones experimentales. Los resultados mostrados son que aun con la optimización brindada por un seguidor de punto máximo de potencia, los paneles solares siguen manteniendo un alto costo en relación al rendimiento que poseen. Como

conclusión se espera a medida que avance la tecnología, también se encuentre la vía para lograr un mayor rendimiento por parte de los paneles solares en conjunto de un seguidor de punto máximo de potencia (Cuestas, S. & Lebus, L., 2012).

2.1.6 “Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Viviendas del Ecuador”

El propósito de este trabajo de investigación es comprobar la factibilidad de lograr una reducción en la demanda de energía mediante el uso de energía solar fotovoltaica. Para dicho trabajo se aplicará el uso del método investigativo para la recopilación de información necesaria para las nuevas estadísticas a demostrar. Los resultados muestran que si es posible lograr una mejora en la calidad de vida de los habitantes del Ecuador mediante una reducción en la demanda de energía por medio de aislaciones térmicas en techos, protección solar de ventanas en lugares cálidos, entre otros. Como conclusión a este trabajo se observa lo valioso que es el continuo incentivo y apoyo a las investigaciones en el campo de las energías renovables dentro del Ecuador y como el mismo puede verse relacionado con una mejora en el estilo de vida de la población (Peralta, J., Lopez, Á., Barriga, A., Sosa, I., & Delgado, E., 2013).

2.1.7 “Seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) en paneles solares”

El objetivo de este proyecto es buscar y obtener la máxima potencia posible de paneles fotovoltaicos mediante el uso de seguidores solares, realizando pruebas en una carga resistiva. Para esta ocasión se usara un método experimental debido a que se realizarán implementaciones en el mismo. Los resultados nos muestran como mediante el uso de seguidores solares se puede alcanzar una optimización muy considerable, debido a que pasa de una potencia aproximada a 10 W a una potencia final de 20 W. Como conclusión al trabajo se aporta que la mejor opción sería el algoritmo de conductancia

incremental debido a la poca oscilación alrededor del punto de operación (Vera, J. E., Bayona, J. F., Cayanza, R. S., 2015).

2.1.8 “Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico”

El propósito de este trabajo es comprobar el funcionamiento y ventajas que puede producir el uso de seguidores solares en paneles fotovoltaicos mediante el uso de microcontroladores. Se usará el método experimental debido a que habrá que realizar varias pruebas para de esta manera obtener información que ayude a alcanzar el objetivo. Entre los resultados obtenidos se puede observar la diferencia de potencia obtenida entre un panel fotovoltaico estático y uno al cual se le ha acoplado un seguidor solar en un rango de 0 a 180 grados en intervalos de 5 en 5. Como conclusión a lo demostrado se puede determinar el éxito total de un seguidor solar llegando a optimizar un panel fotovoltaico en un 33.5% (Mejía, A. E., Londoño, M. H., Osorio, J. C., 2010).

2.1.9 “Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable”

Como objetivos para este proyecto se encuentran el determinar los puntos en los que se genera una mayor pérdida energética y hallar los procesos adecuados para reducir dichas pérdidas. Así como comprobar la factibilidad del uso de sistemas híbridos en sitios remotos. El método a utilizar será el experimental debido a las pruebas a realizar a lo largo del proyecto. Los resultados muestran que debido a la redundancia de fuentes energéticas se disminuye la probabilidad de pérdida energética así como el nivel de carga de las baterías. Como conclusión se añade que este tipo de sistema híbrido conformado por dos fuentes de energía renovable podría desplazar a los actuales sistemas híbridos conformados por energía solar fotovoltaica y el suministro de red eléctrica y así reducir en gran medida las pérdidas de energía y los niveles de contaminación (Delgado, J. R., Monge, S. B., Farrerons, J. B., 2011).

2.1.10 “¿Es posible la Grid Parity en Ecuador?”

Barzola (2014), señala que el propósito del presente artículo es demostrar si existe viabilidad en una instalación fotovoltaica en la ciudad de Guayaquil, mediante un ahorro económico en el costo de la electricidad con un plazo marcado de 30 años. Para este artículo se utilizará una metodología investigativa para obtener estadísticas e información muy relevante para el trabajo. Los resultados son positivos debido a que muestras que si la intención es recuperar la inversión, dejando a un lado cualquier interés de ganancia de utilidad económica, la viabilidad de la Grid Parity es posible en el Ecuador. Como conclusión se determina que mediante la implementación de sistemas solares fotovoltaicos se podría disminuir la sobredemanda de energía eléctrica en horas pico durante el día.

2.1.11 “Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador”

El objetivo principal de esta investigación es determinar las condiciones meteorológicas que afectan a las distintas regiones del Ecuador para a partir de esos datos potenciar la explotación de las energías renovables. Se utilizará un método de investigación detallada debido a la gran cantidad de datos a obtener. Los resultados obtenidos nos reflejan que la mayor parte de las estaciones reflejan su serie temporal completa, así como también se observa que Pichincha es la provincia con mayor número de estaciones. Como conclusión se considera que este tipo de investigaciones conllevara a un mejor desarrollo de las distribuciones experimentales y deja a relucir la necesidad de redistribuir geográficamente y repotenciar la red de monitoreo nacional (Peralta, J., Lopez, Á., Barriga, A., Sosa, I., & Delgado, E., 2013).

2.2 Principios de Energía Solar

La energía solar entre muchas de sus importantes funciones, es la mayor fuente de energía que posee el planeta, brindando la oportunidad de generar

energía eléctrica a partir de la misma. La intensidad de su radiación, tanto directa como difusa, se determina específicamente por el punto geográfico de donde se realice el análisis.

2.2.1 La energía del sol

La energía solar es la principal fuente vital en la Tierra: maneja los ciclos geofísicos que sostienen la vida en el planeta, además de manipular los ciclos del oxígeno, del clima, del agua y del carbono. El sol como tal nos brinda alimentos mediante la fotosíntesis y a su vez no solo sirve como fuente para la energía solar, sino que es quien da origen a la mayoría de las fuentes de energía renovables, como lo son la energía eólica, la energía hidroeléctrica y la energía de la biomasa.

La energía solar receptada por la Tierra en el lapso equivalente a un año, es igual a 20 veces la energía acumulada de todas las reservas de combustibles fósiles a nivel mundial y 10 mil veces mayor al consumo actual. La energía solar puede ser bien utilizada de manera pasiva sin el uso de ningún artefacto específico, se la puede utilizar tan solo haciendo un buen uso de la orientación, diseño y ubicación de los edificios, y utilizando de manera adecuada las propiedades de los elementos y materiales arquitectónicos, como podrían ser las protecciones, los aislamientos y el tipo de revestimiento (Arenas & Zapata, 2011).

Mediante el buen uso de la arquitectura bioclimática se podría bajar sustancialmente e inclusive se podría llegar a eliminar la necesidad de iluminar edificios durante el día, así como también climatizarlos. Dichas prácticas van en sentido opuesto a la tendencia de realizar la mayor cantidad de instalaciones de aparatos de climatización, que estaría de más mencionar que son de gran consumo eléctrico.

La radiación solar receptada por el planeta puede ser utilizada de manera activa mediante el uso de elementos ópticos. Es una energía limpia y

renovable por lo cual se cataloga como una energía verde y que contribuye con el medio ambiente. Principalmente, al tomar de manera idónea la radiación solar, a su vez se podrá obtener electricidad y calor. A través de captadores o colectores térmicos se obtendrá el calor y mediante las denominadas células fotovoltaicas se obtiene la electricidad. Estos procesos no tienen nada que ver el uno con el otro (Arenas & Zapata, 2011).

2.2.2 Radiación solar.

Es el flujo de energía que se receipta del Sol, mediante ondas electromagnéticas frecuencias variadas (luz ultravioleta, infrarroja y visible). Se estima que la mitad de estas frecuencias que se recibe, se encuentran en el rango de $0.4\mu\text{m}$ y $0.7\mu\text{m}$, y así mismo pueden ser apreciadas por el ojo humano, formando lo que se conoce como luz visible. La otra mitad está constituida mayormente por la luz infrarroja y una pequeña porción representa a la luz ultravioleta. Hay una parte de esta radiación que no es completamente absorbida por la atmósfera, esta porción es aquella que causa quemaduras en la piel por largas exposiciones al sol sin la debida protección. La radiación solar puede ser medida con un dispositivo al cual se lo conoce como piranómetro (tal como se muestra en la figura 2.1) (Arenas & Zapata, 2011).



Figura 2. 1: Piranómetro
Fuente: (Arenas & Zapata, 2011)

Según como reciben la radiación solar los elementos que se encuentran en la superficie terrestre, se puede dividir en los siguientes tipos de radiación:

2.2.2.1 Radiación Directa

CONECCEL (2011), expresan que es la radiación que se recibe directamente del sol sin que haya pasado por alguna variación en su trayecto. La radiación directa se la distingue por proyectar o elaborar una sombra de los objetos que se encuentren a su paso.

2.2.2.2 Radiación Difusa

CONECCEL (2011), refiere que una porción de la radiación que pasa a través de la atmósfera es absorbida por las nubes o reflejada por las mismas. Dicha radiación, se la conoce como difusa, como consecuencia de las absorciones y reflexiones causadas por las nubes, esta radiación se proyecta en todas las direcciones. La radiación difusa se distingue de las demás por no crear ninguna sombra a los objetos con los que se encuentre a su paso. Los elementos horizontales son los que mayor cantidad de radiación difusa reciben.

2.2.2.3 Radiación Reflejada

Esta radiación es aquella que como se puede observar en su nombre, es reflejada por la superficie. Según CONECCEL (2011), señalan que aquí jugará un papel fundamental el coeficiente de reflexión de la superficie a analizar. Tan solo las superficies verticales podrán gozar de recibir esta radiación.

2.2.2.4 Radiación Global

Se conoce como radiación global a la suma de las 3 radiaciones anteriormente mencionadas. El aprovechamiento de la radiación solar dependerá del tipo de colector solar que se esté utilizando. Si se desea recibir toda la radiación se tendrá que utilizar colectores solares planos, pero

si tan solo se desea receptor la radiación directa se tendrá que usar colectores de concentración (Arenas y Zapata, 2011).

2.2.2.5 Espectro Solar

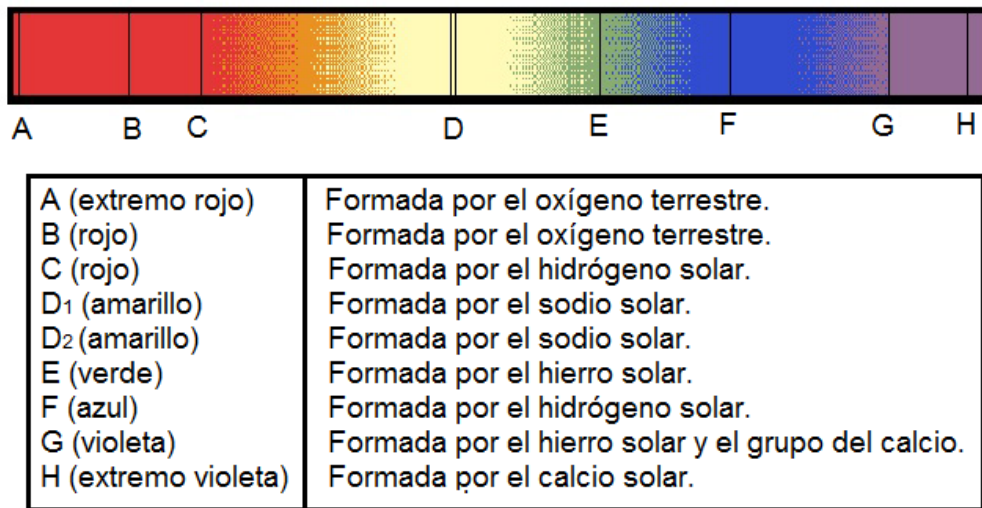


Figura 2. 2: Espectro solar
Fuente: (Arenas y Zapata, 2011)

La radiación solar puede ser analizada y fotografiada mediante el uso de un espectrógrafo. En la figura 3 se encuentran unas líneas negras conocidas como líneas de absorción y existen debido a que los elementos de la atmósfera solar absorben la radiación. Mediante el estudio de dichas líneas se pueden determinar los elementos que se encuentran en el Sol. Las líneas negras que se encuentran en el sector rojo de la imagen representan al hidrógeno y las líneas que se ubican en el sector amarillo representan al sodio (Arenas y Zapata, 2011).

2.2.2.6 Dirección de incidencia de la irradiación solar

El análisis de la dirección con la que incide la irradiación solar en los cuerpos ubicados sobre la superficie terrestre, es de vital importancia a la hora de conocer su comportamiento al ser reflejada. La dirección en la cual el rayo se refleje dependerá del incidente (Arenas y Zapata, 2011).

Con esta finalidad se plantea un modelo que diferencia entre 2 elementos de la irradiación incidente sobre un punto:

- **Irradiación solar directa:** es la que llega al objeto desde la dirección del sol.
- **Irradiación solar difusa:** es aquella que su dirección ha sido cambiada por varias circunstancias, por sus características esta irradiación se considera que viene de todas las direcciones.

La sumatoria de ambas es la “Irradiación total incidente”. La superficie de nuestro planeta está expuesta a la radiación que proviene del sol. La tasa de irradiación dependerá en todo momento del ángulo que forman y la dirección de incidencia de los rayos solares. Debido a la lejanía del sol con el planeta. Sin embargo, la inclinación de la superficie en relación a los rayos mencionados, dependerá de la hora del día y de la latitud para determinar una localización en la longitud (Arenas y Zapata, 2011).

2.2.3 Radiación solar en Ecuador

El Ecuador es un país que cuenta con una gran variedad de características topográficas, así como también una gran diversidad climática y condiciones o cualidades únicas que le otorgan un gran potencial de energías limpias y renovables, las cuales no se pueden quedar a un costado del Inventario de los Recursos Energéticos para la Producción Eléctrica, debido a que las condiciones de satisfacción y cobertura de la demanda que se muestran en el presente, presentan un estrecho lazo específicamente con la energización rural y con la electrificación (CONECEL, 2008).

2.2.3.1 Atlas Solar

En el trabajo denominado *Atlas solar del Ecuador*, (CONECEL, 2008) manifiesta que las estadísticas mostradas reflejan datos de la energía solar promedio mensual y anual en el Ecuador. Representando valores como lo son la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie

horizontal y a su vez incluye los promedios mensuales de cada una de ellas expresado en $Wh/m^2/dia$. (p. 5).

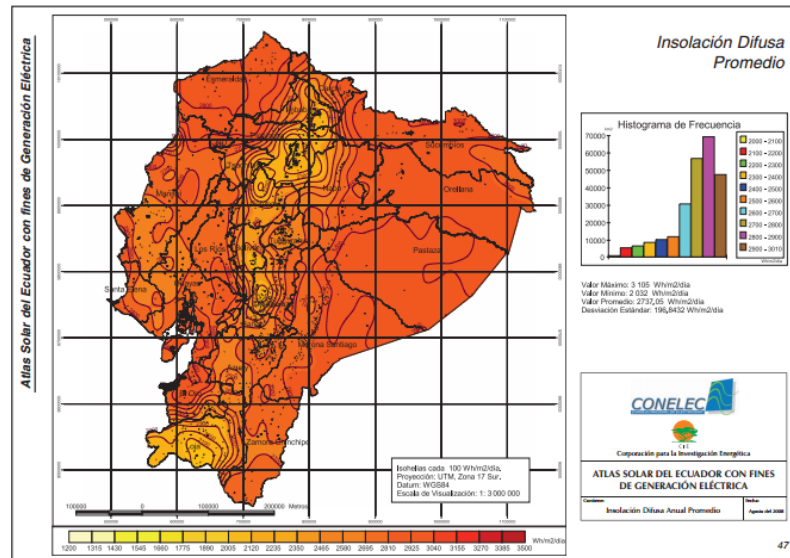


Figura 2. 3: Insolación difusa promedio en Ecuador
Fuente: (CONECEL, 2008).

En la figura 2.3 se puede observar que Ecuador cuenta con un alto rango de insolación difusa, marcando a la Costa, al Oriente, y una sección de la Sierra como los lugares con mayor insolación difusa promedio

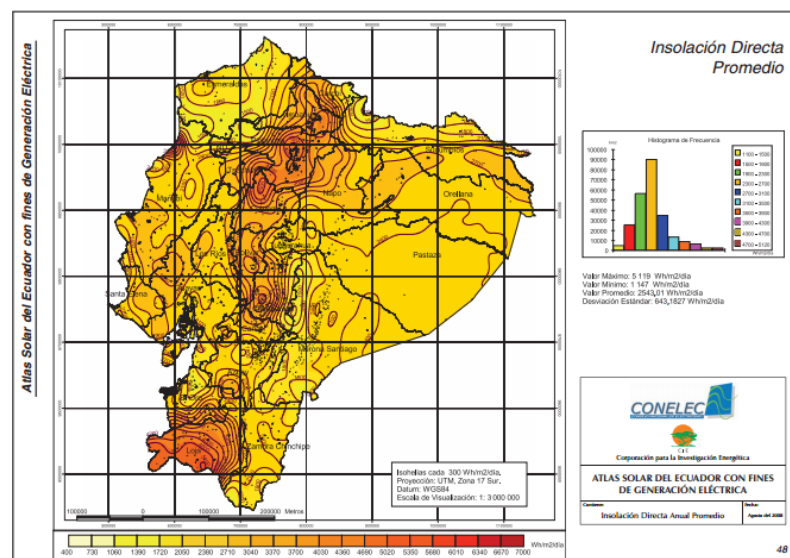


Figura 2. 4 Insolación directa promedio en Ecuador
Fuente: (CONECEL, 2008).

En la figura 2.4 se puede observar que existe un contraste en relación a la figura 2.3 debido a que muestra como puntos máximos de insolación directa, a los lugares donde la insolación difusa era menor al resto del país.

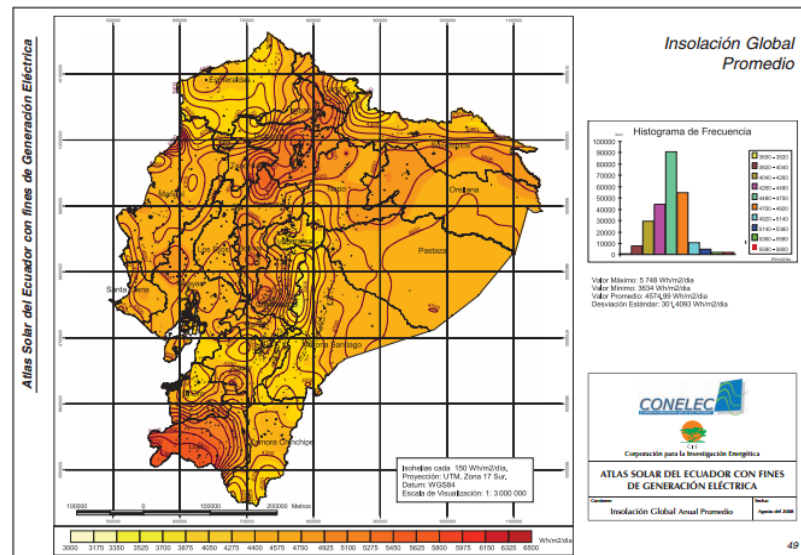


Figura 2. 5: Insolación global promedio en Ecuador
Fuente: (CONECEL, 2008).

En la figura 2.5 se puede observar que Ecuador debido a su geografía cuenta con una gran variedad de puntos en lo que respecta a un promedio de insolación global, determinando como lugares más óptimos, ciertos sectores de la Sierra como por ejemplo la provincia de Loja.

2.3 Panel fotovoltaico

A continuación se detallará características de gran importancia de los paneles fotovoltaicos, como que funciones cumplen y cuáles son sus componentes. Se mostrará su respectiva clasificación y se explicará la importancia que posee el correcto posicionamiento de los paneles solares.

2.3.1 Características

Bejarano, N. (2011), refiere que el panel fotovoltaico será el módulo encargado de cumplir la función de generador de corriente continua. Los módulos fotovoltaicos deberán cumplir con su respectiva certificación según

la norma internacional IEC-61215, o con la norma nacional que se encuentre en actual vigor en el país.

Los errores que se muestran usualmente en sistemas fotovoltaicos no tienen relación con el panel, sino que el fallo puede venir de los demás componentes como lo son las baterías, el regulador, etc. Por lo tanto, a los paneles fotovoltaicos se los tiene en la categoría de componente de mayor fiabilidad. En ciertos paneles, los fabricantes adaptan diodos de paso para mayor protección en caso de que ocurra el fenómeno denominado “punto caliente”. Estos diodos no son incluidos en sistemas CC menores de 24V debido a que las probabilidades de que se produzca un fallo por este fenómeno son totalmente despreciables.

Al momento de hablar de una celda fotovoltaica, automáticamente se considera que la misma posee como material semiconductor al selenio debido a que es el elemento de mayor uso. Un panel solar fotovoltaico es el conjunto de células solares interconectadas en serie y en paralelo eléctricamente hasta que se logre el voltaje que se requiere para que puedan ser utilizadas. Los paneles fotovoltaicos poseen elementos, los cuales tienen como función, proteger a las células fotovoltaicas frente a los agentes externos, y así también cuenta con elementos que aportan rigidez para adaptarse a las estructuras que lo sostienen (Bejarano, N., 2011).

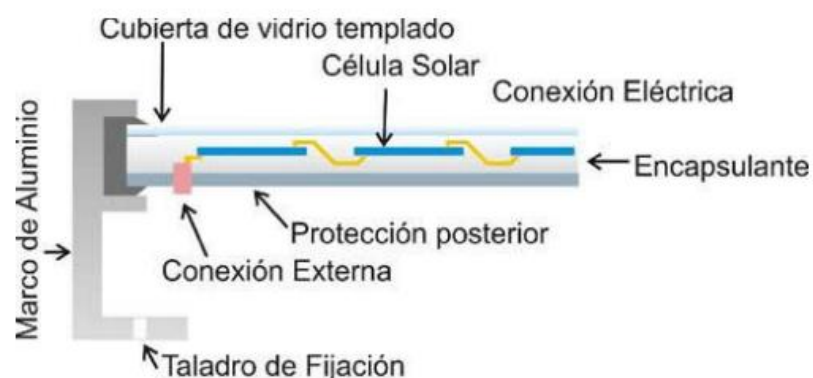


Figura 2. 6: Elementos de protección de un panel solar
Fuente: (Bejarano, N., 2011).

Los elementos que otorgan protección y soporte son:

- **Diodo de protección:** Impide que existan daños por causa de sombras parciales en la superficie del panel.
- **Caja de terminales:** Incluye los bornes que permitirán la conexión del módulo
- **Encapsulante:** Está conformado por un elemento que otorgue o facilite una alta transmisión a la radiación.
- **Cubierta exterior:** su función es soportar las condiciones climatológicas, incluyendo cambios bruscos de temperatura.
- **Cubierta posterior:** Se conforma por capas opacas que servirán para reflejar la luz que ya pasó por la célula, así de esta manera puede pasar nuevamente.
- **Marco de metal:** Usualmente esta hecho de aluminio, este marco debe ofrecer soporte y seguridad para poder adaptarlo a la estructura que lo va a sostener (Bejarano, N., 2011).

El voltaje de salida del módulo fotovoltaico está relacionado con el número de celdas que lo conforman, de esta manera dicho voltaje dependerá del semiconductor utilizado y su estructura cristalina. Estos valores ya vendrán detallados en la hoja del fabricante el cual muestra cómo reaccionará el panel incluso en los casos más desfavorables, así como también se mostrará el valor mínimo que asegurará la carga de las baterías.

La celda fotovoltaica posee una forma cuadrada y el espacio entre celdas es prácticamente nulo, por lo tanto la superficie total del panel será la sumatoria de todas las celdas utilizadas. A medida que se pueda reducir el tamaño del panel, así mismo se creará cierto ahorro económico debido al menor gasto para la estructura del mismo (Bejarano, N., 2011).

2.3.2 Clases de paneles fotovoltaicos

En la actualidad se cuenta con una alta gama de paneles solares fotovoltaicos, los cuales pueden ser fácilmente clasificados por su potencia como se muestra a continuación:

i) Paneles de baja potencia y voltaje.- Se elaboran conectando de 3 a 12 segmentos de silicio amorfo fotovoltaico, lo cual debería verse reflejado en un área total de pocos centímetros cuadrados, un voltaje que puede ir de 1.5 V hasta los 6 V y una potencia que se encuentra en el rango de milivatio. Son utilizados principalmente en calculadoras, relojes, cámaras y sensores que detectan la intensidad de luz.

ii) Paneles pequeños de 1 a 10 vatios.- Su área total se encuentra en el rango de 100 cm² a 100 cm², pueden ser elaborados por celdas monocristalinas o policristalinas, Los usos principales de este tipo de paneles son cercas eléctricas, proyectos académicos, cargadores de baterías y radios.

iii) Paneles grandes de 10 a 60 vatios.- Usualmente de 6 a 12 voltios con áreas dentro del rango de 1000 cm² a los 5000 cm². Estos paneles son elaborados al conectar en serie entre 10 a 36 celdas de las mismas dimensiones. Sus usos más destacados una vez trabajando varios de ellos en conjunto son otorgar energía eléctrica a casas, y fuentes de energías para áreas remotas (Bejarano, N., 2011).

2.3.3 Posicionamiento de un panel solar fotovoltaico

Bejarano, N. (2011), señala que el correcto posicionamiento de un panel solar dependerá completamente del punto geográfico donde se ubique. A su vez, su posicionamiento será determinada por dos factores claves: Orientación e inclinación.

i) Orientación de un panel solar fotovoltaico

Un panel fotovoltaico se encuentra en capacidad de producir electricidad incluso en días nublados, es decir sin luz solar directa, pero las condiciones óptimas sugieren la presencia de luz solar y que el panel solar se encuentre orientado lo más perpendicular hacia el sol, para de esta manera aprovechar al máximo el recurso solar.

Según Bejarano, N. (2011), en el hemisferio norte de la línea equinoccial, el panel fotovoltaico deberá ser orientado hacia el sur, y de igual manera en el hemisferio sur el panel deberá ser orientado hacia el norte. En caso de que la ubicación donde se realice la instalación sea muy cercana a la línea equinoccial la orientación no influirá tanto como en los casos anteriormente mencionados pero se sugiere que de igual manera se cumpla la regla por muy pequeña que parezca la distancia entre la línea equinoccial y la ubicación de la instalación.

Angulo de azimut.- realiza la proyección sobre el plano horizontal de la superficie del panel fotovoltaico y la dirección sur. Si el resultado coincide con la orientación sur, positivo hacia el oeste y negativo hacia el este, valdrá 0 grados. De igual forma valdrá -90 grados si el valor coincide con el este y +90 grados si el valor coincide con el oeste (Bejarano, N., 2011).

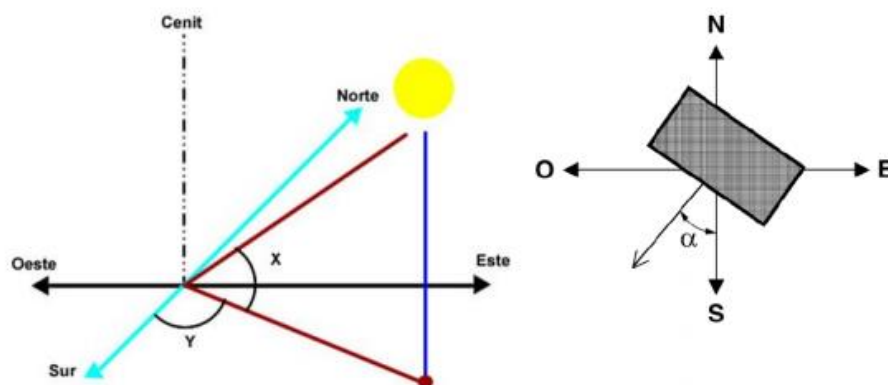


Figura 2. 7: Orientación de un panel fotovoltaico
Fuente: (Bejarano, N., 2011).

Para lugares que se ubican en la línea equinoccial como es el caso de Guayaquil que se encuentra a 2°12' de latitud sur la desviación será mínima.

ii) **Inclinación de un panel solar fotovoltaico**

Según Bejarano, N. (2011), el sol se desplaza en sentido de este a oeste. La potencia máxima de un panel fotovoltaico se obtiene al orientar el panel hacia el sol, con un ángulo prácticamente perpendicular al sol del mediodía, se coloca de forma fija el panel fotovoltaico por lo cual no podrá continuar siguiendo al sol de forma perpendicular durante todo su trayecto. Adicional a lo mencionado existen variaciones estacionales, debido al constante movimiento de la tierra alrededor del sol, las cuales se las conoce como sol de invierno y sol de verano.

A lo largo del invierno el sol no logrará obtener el mismo ángulo que fácilmente logra el sol de verano. Durante el verano los paneles deberán ser ubicados con un distinto ángulo, uno menor, para que así los paneles fotovoltaicos puedan beneficiarse al máximo del recurso solar. Cabe recalcar que hay ángulos de inclinación óptimos para cada latitud. En la imagen mostrada a continuación se puede apreciar una tabla que muestra el ángulo de inclinación en referencia a un rango de latitud geográfica (Bejarano, N., 2011).

Latitud del lugar	Ángulo en Invierno	Ángulo en verano
0 al 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	Latitud	Latitud
25 a 30 grados	Latitud + 5 grados	Latitud - 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud - 10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
más de 40 grados	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

Figura 2. 8: Comparativa entre latitud de lugar y ángulo según la estación.

Fuente: (Bejarano, N., 2011).

2.4 Seguidor solar

Machado, N., Lussón, A., Oro, L. Bonzón, J., Escalona, O. (2015), expresa que un seguidor solar es un dispositivo mecánico con la cualidad de buscar y encontrar constantemente la posición del sol sin importar la hora del día, desplazándose de este a oeste, mismo sentido en el cual el sol realiza su trayectoria

2.4.1 Características

Está compuesto por una parte fija y una parte móvil, dicha parte móvil deberá mantenerse de manera perpendicular a los rayos del sol a lo largo del día, con el objetivo de alcanzar constantemente el punto máximo de potencia que puede ofrecer el panel fotovoltaico.

Los seguidores solares que se encuentren adaptados a los paneles fotovoltaicos que cumplen la función de captadores de radiación, son usados para darle la posición más óptima a dichos paneles para que así permanezcan obteniendo la mayor cantidad de radiación posible y así mismo una mayor generación de energía (Machado, N *et al.*, 2015).

2.4.2 Clasificación según el tipo de movimiento

i) Seguidor de un solo eje

La rotación de la superficie del panel fotovoltaico se realiza únicamente sobre un eje, el cual podría ser vertical, horizontal o incluso oblicuo. El costo de este tipo de seguidor es menor en relación a los demás así como también se lo considera de menor complejidad. La desventaja de este tipo de seguidor solar consiste en su limitado seguimiento solar debido a que en la mayor parte geográfica del planeta se deberá controlar tanto la azimut como la inclinación solar (Machado, N *et al.*, 2015).

ii) Seguidores de dos ejes

Machado, N *et al.* (2015), señala que a diferencia del seguidor solar de un eje, este seguidor contará con dos grados de libertad y estará en capacidad de controlar tanto la azimut como la inclinación solar y así realizar un seguimiento solar total.

Como ventaja se puede apreciar que será mucho más eficiente que el seguidor de un solo eje, pero vale mencionar que la variación en su eficiencia en relación con el de un solo eje dependerá de la ubicación geográfica. Y como desventaja es un seguidor que resultará más costoso.

2.4.3 Clasificación según el tipo de algoritmo de seguimiento

i) Intensidad lumínica

Este algoritmo utilizado en los seguidores solares funciona a base de señales receptadas por uno o varios sensores, una vez obtenida la señal se envía un comando a uno o más motores para que se reposicionen en el punto más idóneo de luminosidad. Este tipo de algoritmo es muy conocido debido a su fácil implementación (Machado, N *et al.*, 2015).

ii) Programación astronómica

Este algoritmo de seguimiento se desvincula totalmente de las condiciones climáticas debido a que su programación no incluye sensores de luminosidad. Este seguimiento se basará totalmente en una serie de ecuaciones que lograrán predecir la ubicación del sol (Machado, N *et al.*, 2015).

2.5 Sistemas de control basados en Microcontroladores

Para realizar una explicación de sistemas de control basados en microcontroladores se debe tomar en cuenta sus dos subdivisiones más importantes, la parte física, como lo es el microcontrolador y sus componentes, como la parte de desarrollo de software y su respectiva programación. Dichas subdivisiones serán detalladas a continuación.

2.5.1 Microcontrolador

En su artículo denominado *Microcontroladores: Arquitectura, programación y aplicaciones*, Nova (2008), sostiene que “un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos” (p. 5).

Dichos componentes se encuentran interconectados en el interior del microcontrolador, y al juntarse se forma aquello que se denomina microcomputadora. Por lo tanto, es totalmente correcto aseverar que un microcontrolador es una microcomputadora encapsulada en un circuito integrado.

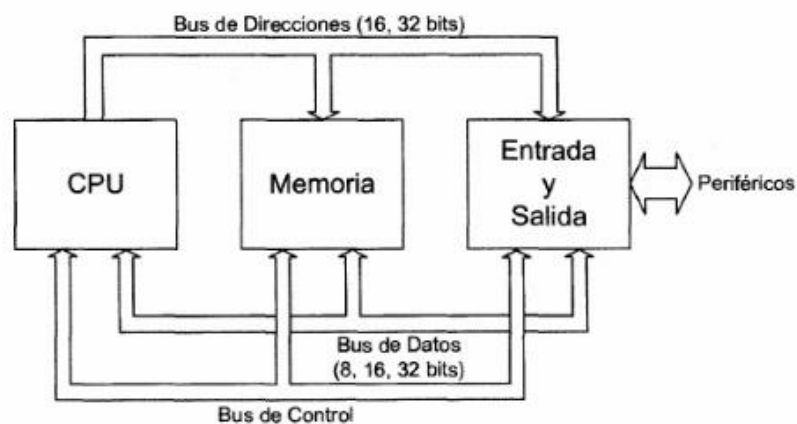


Figura 2. 9: Microcontrolador
Fuente: (Nova, 2008).

Nova (2008), expresa que en su memoria únicamente se encuentra un programa el cual cumple la función de manejar una aplicación determinada; sus líneas de entrada y de salida permiten la conexión tanto de los sensores (entradas), así como de los actuadores (salidas) del dispositivo que se desea controlar. Una vez que el microcontrolador se encuentre programado y configurado estará listo para cumplir única y exclusivamente la tarea asignada.

El objetivo principal de un microcontrolador es poder leer y ejecutar los programas que previamente han sido escritos por un usuario, y debido a esto es que la programación se ha vuelto una actividad indispensable a la hora de realizar diseños de circuitos.

2.5.2 Componentes de un microcontrolador

Un microcontrolador posee los recursos fundamentales de un microcomputador, como lo son la unidad central de procesamiento (CPU), las entradas y salidas y la memoria en un solo circuito integrado (Nova, 2008).

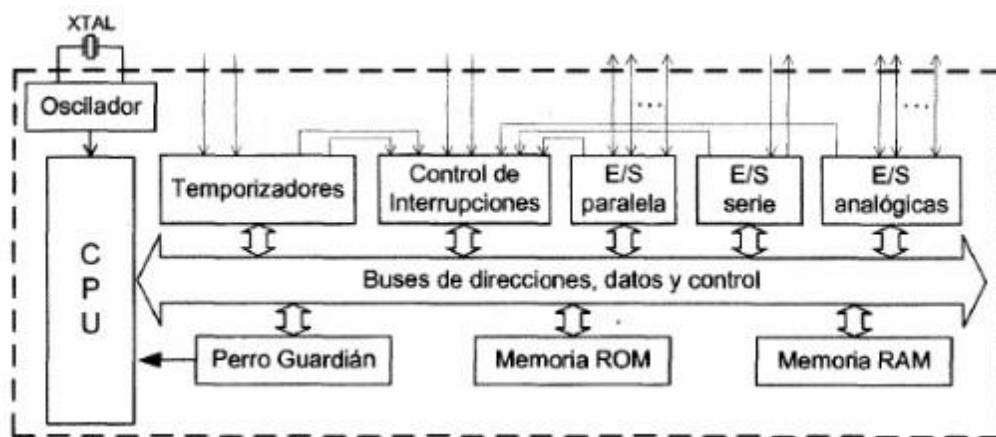


Figura 2. 10: Componentes de un microcontrolador
Fuente: (Nova, 2008).

Nova (2008), refiere que el microcontrolador está conformado por los componentes mencionados a continuación:

- Un **oscilador** que genera los pulsos que coordinan y sincronizar las operaciones internas
- La **CPU** es el cerebro del microcontrolador. Es la encargada de llevar una a una las instrucciones del programa, desde su lugar de almacenamiento en la memoria, para luego descodificarlas y acto seguido ejecutarlas. Este componente cuenta con diferentes registros, unos cumplen objetivos generales mientras que hay otros que sirven para propósitos específicos como lo son:
 - El Registro de instrucción

- El Acumulador
 - El Registro de Estado
 - El Contador de Programa
 - El Registro de Direcciones de Datos
 - El Puntero de Pila
- La **Memoria RAM (Random Access Memory)** es una memoria de escritura y lectura, la cual se caracteriza por ser volátil, es decir, que al momento de cortarse la alimentación de energía perderá la información almacenada.
 - La **Memoria ROM (Read Only Memory)** es una memoria de solo lectura y a diferencia de la RAM, esta memoria no es volátil y se la usa para guardar de manera permanente el programa que será ejecutado por el microcontrolador
 - La **Entrada y Salida** son muy importantes en los microcontroladores, debido que mediante las mismas es que el microcontrolador puede interactuar con el exterior. Como parte de la entrada y la salida se puede encontrar los puertos paralelo y serie, las interrupciones y los temporizadores (Nova, 2008).

2.5.3 Proceso de Desarrollo

Nova (2008), expresa que el desarrollo de una aplicación basada en microcontroladores contiene un proceso el cual se encuentra compuesto por 3 etapas principales:

i) Desarrollo del software

Se basa en escribir y compilar o ensamblar el programa que marcará las acciones que desarrollará el microcontrolador. Hay varias formas de desarrollar el programa, esto dependerá del lenguaje inicial que se desee usar para escribir dicho programa, se puede iniciar tanto de un lenguaje ensamblador así como de un lenguaje de alto nivel. A continuación se

mostrará los dos métodos típicos que posee un desarrollador para crear el código de máquina que es reconocido por el microcontrolador (Nova, 2008).

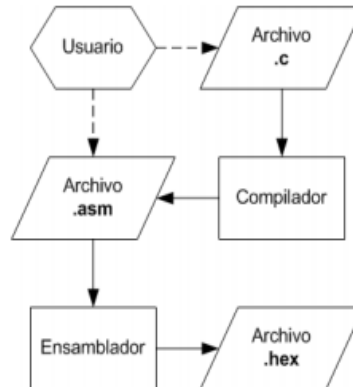


Figura 2. 11: Diagrama de desarrollo de software
Fuente: (Nova, 2008).

ii) Programación del microcontrolador

Esta etapa es la encargada de utilizar el programa previamente desarrollado en el paso anterior, programa que posee una extensión (.hex o .bin o .coff) y lo envía mediante un puerto, ya sea este un puerto serial, paralelo o USB, a un dispositivo que tiene la capacidad de escribir en la memoria del microcontrolador. Es común denominar tanto al hardware como al software como programador, lo cual puede ser motivo de posibles confusiones (Nova, 2008).

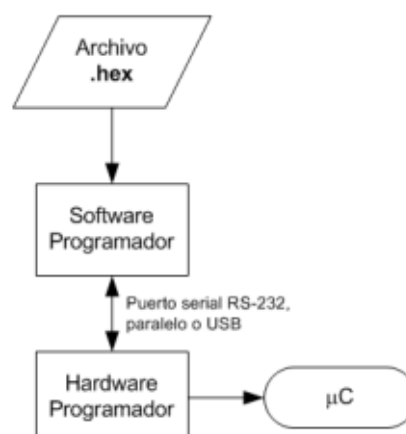


Figura 2. 12: Diagrama de desarrollo de software
Fuente: (Nova, 2008).

iii) Prueba y Verificación

Nova (2008), señala que una vez que se ha guardado el programa en la memoria del microcontrolador, se lo puede añadir al circuito final para corroborar su adecuado funcionamiento. Adicionalmente, existen programas que pueden simular el comportamiento de un microcontrolador, los cuales son de gran ayuda cuando el programa ya ha alcanzado un alto grado de complejidad.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DEL MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

3.1 Descripción general del módulo solar fotovoltaico

En este capítulo se describirá detalladamente el diseño y desarrollo del prototipo tanto de manera general, como un desglose específico de cada uno de sus componentes; se mostrará el funcionamiento de la interfaz con el ordenador y el desarrollo y explicación de la sección de control. Se realizarán pruebas y se mostrarán los resultados de las mismas.

3.1.1 Descripción del proyecto

El presente proyecto se orienta al análisis y diseño del prototipo de un módulo solar fotovoltaico que busca determinar cuál es el modelo que permita alcanzar el punto de potencia máxima de los paneles solares fotovoltaicos con mayor eficiencia; El diseño de la máquina está conformado por dos paneles solares medianos adaptados a servomotores, también se cuenta con 2 fotorresistencias adaptadas a los costados de cada panel, las cuales cumplen la función de seguidores solares.

El proceso es controlado mediante el uso de un microcontrolador de 8 bits en el cual previamente se cargarán los algoritmos que permitan el desarrollo del proyecto; los algoritmos a usar será el método de punto máximo de potencia y el método astronómico.

Se cuenta con un interfaz de usuario, la cual permite la activación del sistema, contando con su respectivo botón de encendido y de paro. Brinda la posibilidad de seleccionar que método se desea utilizar en cada prueba, así como también nos permite capturar los datos generados por los paneles solares como lo son el voltaje y la corriente y visualizarlos en sus respectivas gráficas. Dicha información sirve para hacer análisis y comparaciones acerca de cuál es el método más eficiente para el proyecto.

3.1.2 Características del prototipo

El proyecto se alimenta de la red pública, la cual permite energizar los componentes del módulo solar y a su vez debe estar conectado a un ordenador con la interfaz desarrollada para este proyecto, para poder desempeñar las funciones previamente establecidas.

Los generadores de energía son 2 paneles solares fotovoltaicos policristalinos de 10W de potencia pertenecientes a la marca SUNLINK PV. Los paneles cuentan con una eficiencia del 10,5%, adicionalmente poseen una estructura de aluminio y su diseño soporta temperaturas que se ubiquen dentro del rango de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$, lo cual le permite realizar pruebas en distintos ambientes.

Los paneles anteriormente mencionados son móviles gracias a la incorporación de servomotores MG996R cuya potencia es de: 9.4 kg/cm (4.8 V), 11 kg/cm (6 V). Estos servomotores han sido adaptados debido a la incorporación de una pieza que ha sido desarrollada para este proyecto específicamente para conectar el tubo PVC, del cual está sujeto el panel, con el servomotor y así asegurar un agarre mucho más confiable y mejorar la precisión y eficiencia del trabajo.

Cada panel fotovoltaico cuenta con 2 fotorresistencias de $8\text{ K}\Omega$ acopladas a sus costados, las cuales desempeñan la función de seguidor solar, las fotorresistencias se encuentran en buscando de manera constante el mayor punto de intensidad lumínica y así reubicar el panel fotovoltaico para potenciar su eficiencia. El procesador es un microcontrolador 16F887, de 20MHz, posee 368 bytes de memoria RAM y está previamente programado para ejecutar el método deseado para la prueba

La interfaz está desarrollada en LabView con la finalidad de controlar parte del proceso debido a que se utilizará el contador integrado en dicho software

y adicional a lo ya mencionado, recopila registros del voltaje y corriente producidos a lo largo del día y muestra datos finales para su posterior comparación

Tabla 3.1: Principales componentes del prototipo.

Dispositivos	Características técnicas
Módulo solar	Sunlink modelo SL010-12P, 12 Vdc nominal 10W
Sensores	- 2 fotorresistencias de 8 K Ω - Sensor de corriente ACS712
Actuadores	2 Servomotores de engranaje metálico MG996R
Procesador	Microcontrolador de 8 bits, 16F777A fabricado por Microchip
Software utilizado para la interfaz	LabView
Alimentación de paneles solares	12 Vdc
Alimentación de servomotores	4.8V a 6.6V
Material de la estructura del prototipo	Acero con recubierta de laca

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Funciones del Proyecto

A continuación se enlistarán y detallarán las funciones con las que cuenta el proyecto, ubicando las mismas, según el orden en que se realizan en el funcionamiento del proyecto.

i) Determinar el PPM (Punto de potencia máxima)

Mediante el uso de las fotorresistencias se evalúa constantemente la intensidad de luz receptada por las mismas, determinando cual

fotorresistencia recibe más luz y así reposicionar el panel constantemente, determinando el punto de potencia máxima a lo largo del proceso.

ii) Determinar el valor de tensión y corriente

El dispositivo determina los valores de tensión y de corriente de los dos paneles solares en cualquier momento que se desee visualizar.

iii) Adquisición de datos

Se procederá a capturar y almacenar los datos obtenidos acerca de la cantidad de potencia producida, en relación con la hora en la cual se obtuvo.

iv) Interfaz de Usuario

Como función, la interfaz de usuario, permitirá la interacción del usuario con el sistema.

v) Análisis de datos

Una vez que la información capturada se encuentre en la interfaz del ordenador. Se realizará un análisis comparativo entre la potencia producida por cada uno de los paneles y determinar que método es el más eficiente para la zona geográfica en la cual se realiza el estudio.

3.1.4 Diagrama de Flujo

El presente diagrama de flujo detallará en términos generales el funcionamiento del prototipo. Mostrando desde su inicio, las funciones o pasos que desempeñará hasta acabar la prueba. Con su elaboración se permite un mayor entendimiento acerca del proceso que realiza el prototipo.

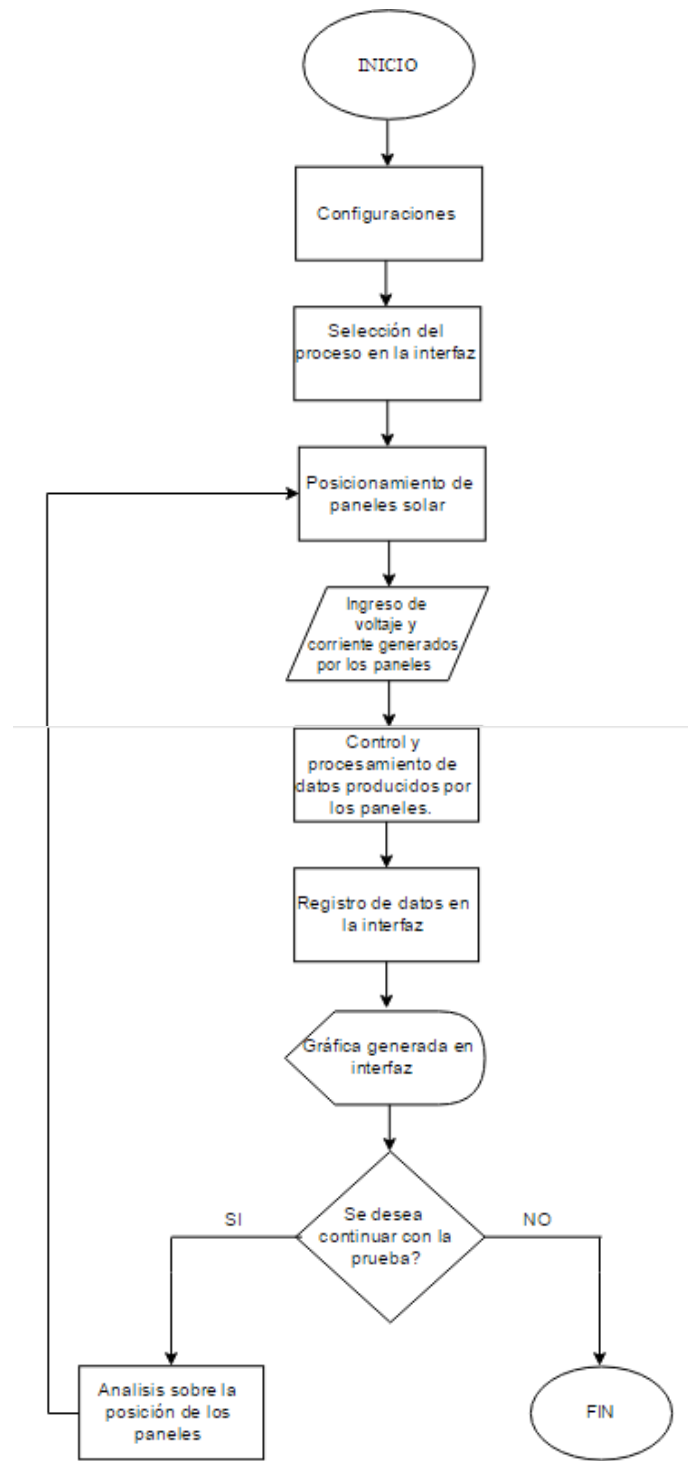


Figura 3. 1: Diagrama de flujo del prototipo
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Análisis y descripción del diseño del prototipo de seguidor solar.

A continuación, se procederá a describir cómo se realizó el diseño del prototipo del seguidor solar, las especificaciones o requerimientos marcados para la selección de cada componente; así como también sus respectivas conexiones físicas en el proyecto. También se observará el desarrollo del sistema de control del prototipo para su correcto funcionamiento. Esta sección se subdividirá en 3 partes: los paneles solares, los sensores y actuadores y finalmente el sistema de control.

3.2.1 Paneles solares

Se ha seleccionado el panel solar de la marca Sunlink, modelo SL010-12P, debido a que sus especificaciones técnicas coinciden con lo requerido para este proyecto. Vale recalcar que este proyecto no tiene como objetivo final producir una gran cantidad de energía eléctrica, sino que pretende hallar métodos en los cuales con el uso de la electrónica, permita mejorar la eficiencia del panel.

Se consideró como criterio para la selección del panel que sea de un tamaño medio, para que pueda ser movilizado sin mayor problema, y así mismo que no sea de gran peso para no complicar la labor de los servomotores. Cada uno de los paneles solares se conectará directamente a un sensor de corriente ACS712, el cual a su vez se conectará a la placa, específicamente a uno de los puertos de entradas del microprocesador.

i) Características del panel solar

Los paneles solares cumplirán la función de receptar la radiación solar, tanto directa como difusa y a su vez, los encargados de producir la corriente directa que más adelante servirá para un respectivo análisis y comparación de datos obtenidos.

Tabla 3.2: Características del panel solar

Característica	Detalle
Número de paneles	2
Marca y modelo	Sunlink SL010-12P
Peso	1,1 kg
Material del marco	Aluminio
Dimensiones	34 cm x 28 cm x 1.7 cm
Celda solar	Celda policristalina 76.5 mm x 24 mm
Potencia pico nominal (Wp)	10 Watts
Voltaje nominal (Vmp)	17.3 Voltios
Corriente nominal (Imp)	0.59 Amperios
Voltaje circuito abierto	21.6 Voltios
Corriente cortocircuito (Isc)	0.65 Amperios
Eficiencia del módulo	10.5%

Fuente: (Renova Energía,2015)

3.2.2. Sensores y actuadores

i) Actuadores

El prototipo contará con el uso de 2 servomotores MG996R para obtener el giro de los paneles fotovoltaicos. Los servomotores cuentan con una potencia máxima de 11 Kg/cm mientras sea alimentado a 6V, poseen engranajes metálicos, los cuales brindarán mayor confiabilidad en términos de durabilidad, han sido adaptados a los tubos de PVC en los cuales están sujetos los paneles solares.

La selección de este elemento se hizo en base a cubrir necesidades como soporte de carga, torsión de 180 grados y bajo consumo eléctrico. Debido a

que el servomotor MG996R cumplía con los requerimientos solicitados, fue seleccionado para el proyecto.

Tabla 3.3: Características del servomotor

Característica	Detalle
Modelo	Sunlink modelo SL010-12P, 12 Vdc nominal 10W
Material de los engranajes	Metálico
Peso	55 gramos
Dimensiones	40.7 mm x 19.7 mm x 42.9 mm
Potencia	9,4 kg/cm (4.8 V); 11 kg/cm (6 V)
Velocidad de giro	0,19 seg/60 grados (4.8 V); 0,15 seg/60 grados (6 V)
Alimentación de servomotores	4.8V a 6.6V

Fuente: (TowerPro,2014)

Los 2 servomotores cumplen la función de permitir la rotación en 1 eje de los paneles solares fotovoltaicos. Reciben la orden de la tarjeta de control, girando en el valor indicado. Son de vital importancia debido a que serán el actuador final para que el panel solar se posicione en su punto máximo de potencia.

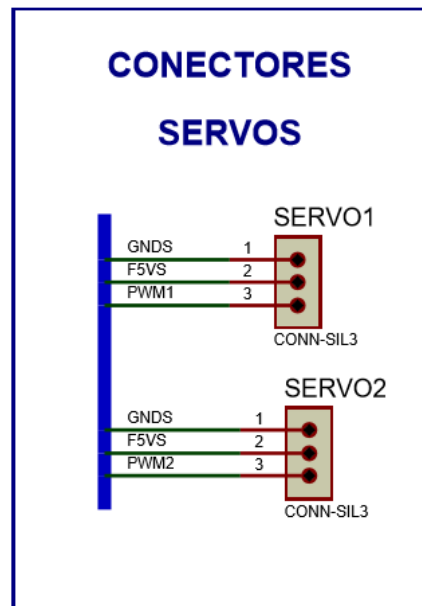


Figura 3. 2: Esquema de conexiones para servomotores.
Fuente: Elaboración propia.

Los servomotores poseen 3 pines para su respectiva conexión, el primero va conectado a tierra, el segundo está conectado a la fuente de 5V exclusiva para los servomotores y el tercero es conectado con los puertos PWM1 (pin17) y PWM2 (pin16) respectivamente del puerto C del microcontrolador.

ii) Sensores de energía solar

El prototipo cuenta con 4 LDR que en su punto más oscuro pueden alcanzar los $8K\Omega$ y en su polo, el momento con mayor intensidad de luz, descender hasta 400Ω . Las LDR van acopladas a los costados de los paneles fotovoltaicos, 2 en cada panel.

Para seleccionar este elemento se realizó un análisis previo de las especificaciones requeridas para poder desempeñar un correcto seguimiento solar, o en otras palabras de la intensidad de luz. El elemento elegido cumple con el requerimiento de brindar una respuesta inmediata de registro ante la variación de intensidad de luz reflejada por el sol, así como también determinar cuál lado del panel fotovoltaico se recibe una mayor cantidad de luz y así realizar la respectiva reubicación.

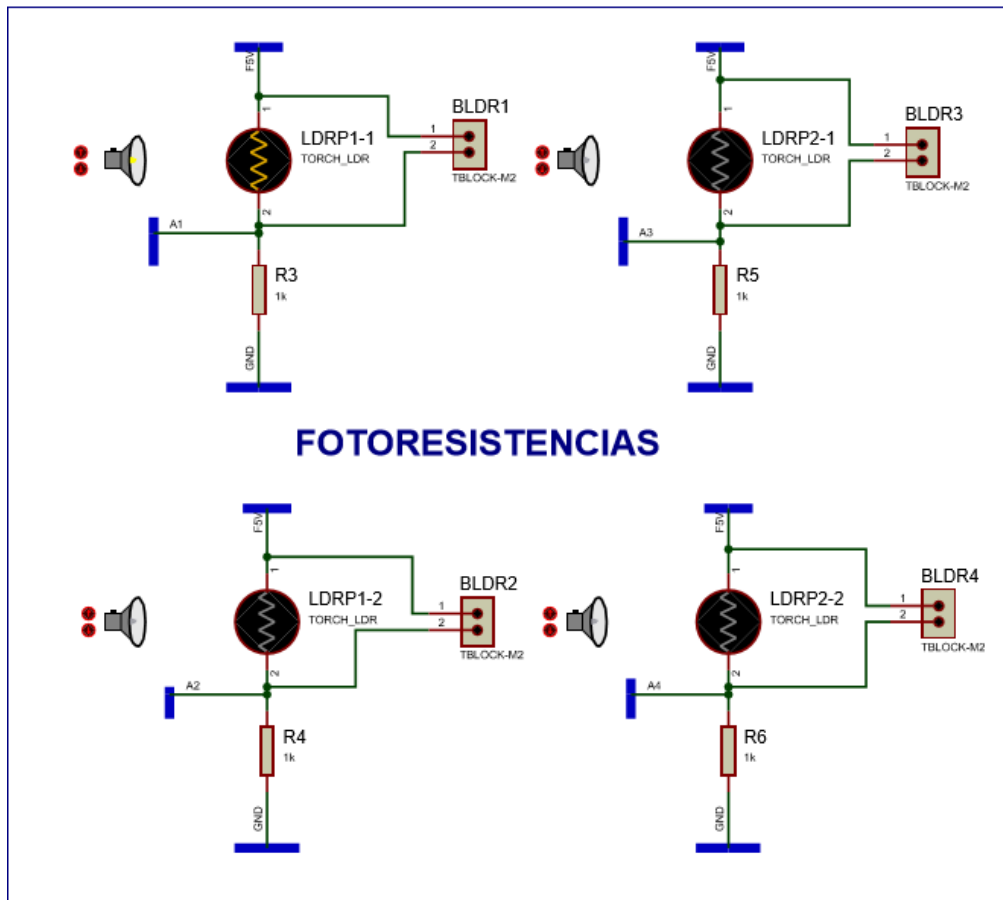


Figura 3. 3: Esquema de conexiones para las LDR.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describirá el diagrama de conexión de las LDR, mostrado en la figura 3.3. Una salida de la fotorresistencia va conectada directamente a la bornera de dos entradas así como también a la fuente de 5V. La otra salida va conectada de igual manera a la entrada restante de la bornera ya utilizada, a uno de los pines del puerto A del microcontrolador y a tierra mediante el uso de una resistencia de 1KΩ.

Las LDR desempeñan la función de seguidor solar, debido a que son utilizados como sensor de intensidad lumínica, son las encargadas de determinar la cantidad de intensidad de luz que recibe el panel solar y a su vez detectar cuál de las fotorresistencias recibe una mayor cantidad de luz, para de esta manera poder reubicar el panel solar y así lograr alcanzar el

punto máximo de potencia, debido a que siempre buscará la mayor cantidad de luz disponible.

iii) Sensores de corriente

Es un método utilizado para medir corriente, este módulo funciona en base al efecto Hall, el cual consiste en detectar un campo magnético generado a partir de la inducción de la intensidad que posee la línea que esté siendo medida en ese instante. Este módulo nos proporciona una salida de tensión directamente proporcional a la intensidad de 5 amperios. Posee una sensibilidad de 185mV/A y un rango de corriente que abarca desde -5A a 5A.

La selección del sensor de corriente se hizo en base a parámetros claros como el rango de corriente, el costo del componente, su facilidad de manejo y adaptación al resto del sistema y su disponibilidad en el mercado nacional. Se eligió el sensor de corriente ACS712 debido a que cumple con cada uno de los parámetros previamente establecidos, ya que permitiría la medición de la corriente generada por cada uno de los paneles fotovoltaicos.

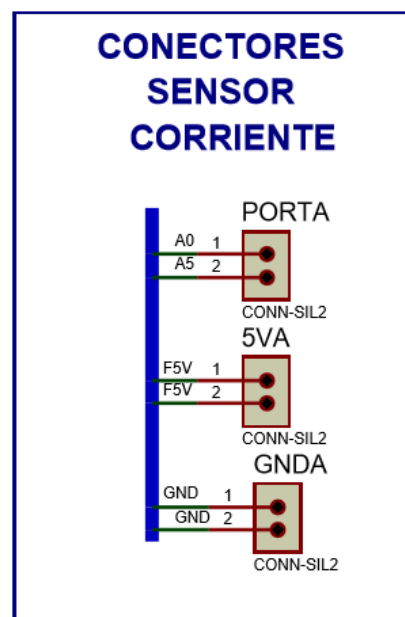


Figura 3. 4: Esquema de conexiones para ACS712.
Fuente: Elaboración propia.

El módulo de sensor de corriente ACS712 posee por un lado dos borneras, donde se conecta el elemento al cual se desea medir su corriente, en este caso, los terminales del panel fotovoltaico. En su otro extremo cuenta con 3 pines, los cuales serán conectados de izquierda a derecha el primero a tierra, el segundo pin es una salida analógica, la cual enviará la medición de la corriente y va conectada a uno de los pines del puerto A del microcontrolador (Pin 2 y Pin7 respectivamente) y finalmente el tercer pin va conectado directamente a la fuente de 5V.

Este componente es el que permite medir la corriente que genera el panel fotovoltaico de manera constante y así lograr detectar de manera inmediata cualquier variación de la misma, también envía la información recolectada al microcontrolador para que pueda continuar el proceso de recopilación y almacenamiento de datos en la interfaz de usuario.

3.2.3 Sistema de control

El sistema de control se subdivide en el análisis del hardware, que conlleva a los elementos utilizados para la integración de una tarjeta de adquisición de datos junto a sus respectivas conexiones, y al diseño y desarrollo de las funciones que desempeña el microcontrolador.

i) Análisis del hardware

El sistema de control, es el encargado de realizar los diferentes procesos, solicitar las mediciones, generar alarmas y más operaciones que son requeridas durante la ejecución de alguna tarea. Los componentes electrónicos y digitales del equipo, se encuentra montados en una tarjeta de 10 cm por 7 cm, fabricada en baquelita a doble, la cual está conformada por los siguientes componentes:

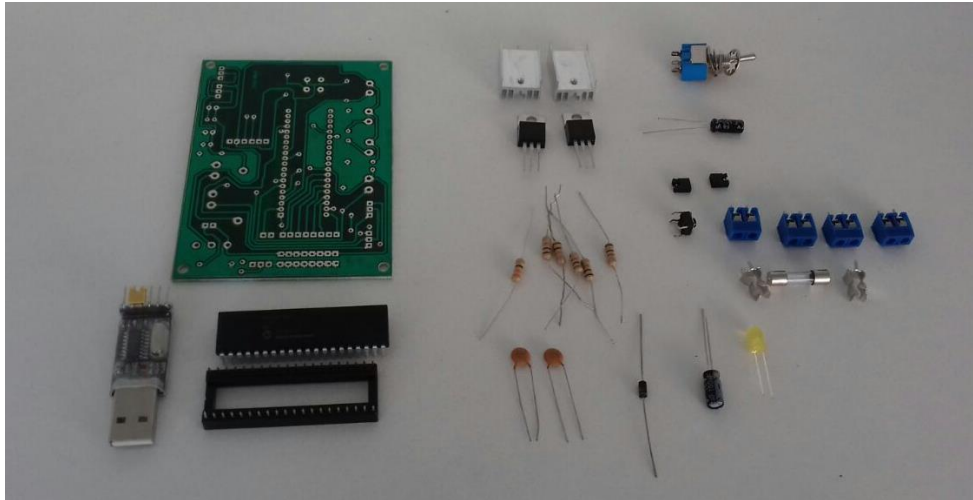


Figura 3. 5: Componentes de la tarjeta de adquisición de datos.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Lista de componentes de la placa

Cantidad	Componente
1	Pic 16F887
4	Borneras de 2 entradas
2	7805
1	Jumper
2	Capacitores de 100 uf
2	Capacitores de 100 nf
1	Pulsador de 4 patas
1	Fusil pequeño de 5A
1	Portafusible
1	Diodo 4007
1	Switch ojo de cangrejo-dos posiciones
4	Resistencia de 1K Ω
1	Resistencia de 10K Ω
1	Resistencia de 330 ohm

50	Espadines
1	Convertidor de USB a TTL

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. 6: Pic 16F887.
Fuente: Elaboración propia.

Se ha seleccionado un microcontrolador de 8 bits, específicamente el pic 16F887A, el cual es fabricado por microchip, posee 40 pines de los cuales se han utilizado los siguientes:

- Pin 1 botón Reset del pic.
- Puerto A: se ingresaron las entradas analógicas de 2 sensores de corriente ACS712 (Pin 2 y 7) y 4 fotorresistencias de 8K Ω (Pines 3, 4, 5, 6).
- Puerto B queda abierto para entradas o salidas analógicas y digitales.
- Puerto C: se utiliza una entrada y una salida digital para la comunicación serial entre la interfaz y la tarjeta de adquisición de datos (TX, RX) (pines 25 y 26) y también se ocupa los pines 16 y 17 como salidas digitales PWM de los servomotores (PWM1 y PWM2).

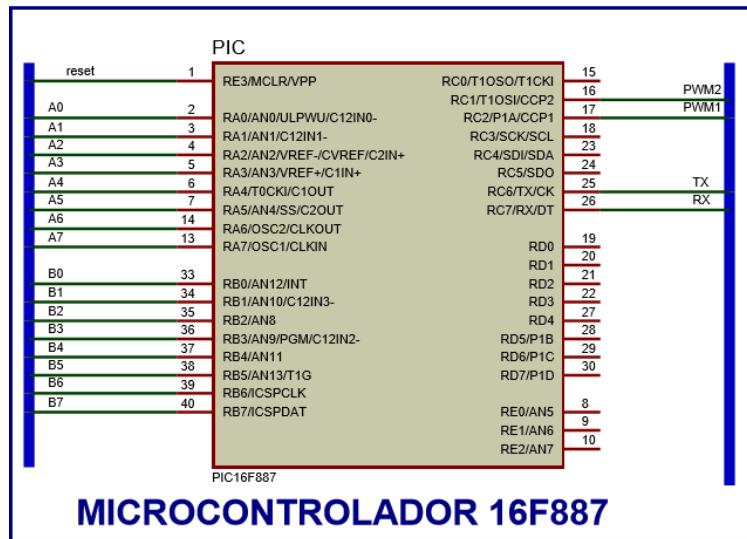


Figura 3. 7: Esquema de conexiones del microcontrolador 16F887.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se mostrará el resultado de la tarjeta de adquisición de datos, una vez soldados los componentes que integran la placa de doble cara desarrollada en Proteus.

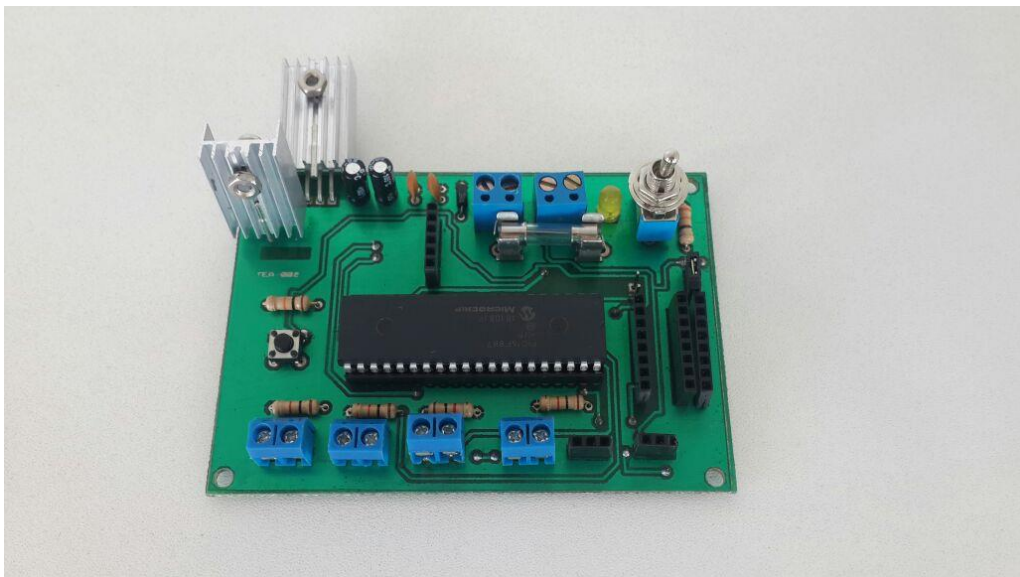


Figura 3. 8: Tarjeta de adquisición de datos
Fuente: Elaboración propia

ii) Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema de control

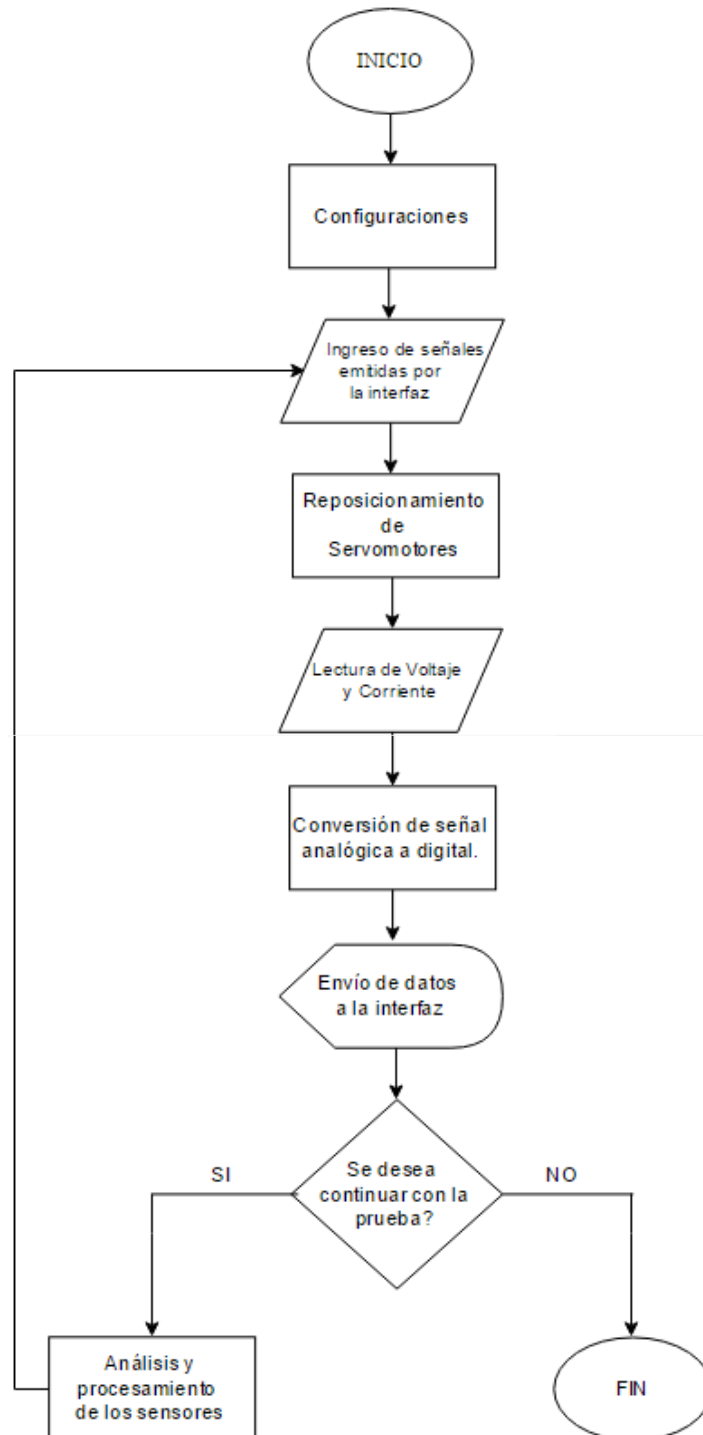


Figura 3. 9: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Análisis de la estructura base del prototipo

Para el proyecto se consideró elaborar una base metálica, la cual primero fue diseñada en bocetos a escala para conocer sus dimensiones (160 cm de ancho, 41 cm de largo y 110 cm de alto) y posterior se procedió a realizarlo a escala real con tubos cuadrados de media y de dos milímetros de espesor. Esta base da soporte a todo el prototipo, lo cual incluye paneles solares, sensores, servomotores y la caja que posee la placa de control. Brinda altura a los paneles para poder tener un mejor resultado en ángulos extremos, como se observará a inicio y final del día.

La base es más extensa en comparación al espacio que ocupan los paneles y la separación que hay entre los paneles para brindar un mejor agarre y estabilidad en caso de que existan vientos más fuertes de lo normal. Existieron modificaciones a lo largo del proyecto debido a que se cambió el material del tubo en el cual se conecta el servomotor, para hacer girar el panel solar de manera correcta, debido a que su anterior estructura metálica pesaba aproximadamente 6 libras. Actualmente el proyecto cuenta con tubos de PVC para aligerar el peso total que deberá girar el servomotor. Que brinda la misma seguridad de agarre del servomotor, a diferencia de la gran reducción de peso presentado en el prototipo.

3.4. Análisis del diseño de la interfaz de usuario

A continuación se detallarán las características y funciones con las que cuenta la interfaz de usuario, así como también el desarrollo de la comunicación entre el microcontrolador y la interfaz y finalmente se hará un análisis sobre cómo se llevó a cabo la elaboración de la interfaz de usuario

3.4.1 Descripción de la interfaz

i) Características

Para la interfaz de usuario se ha considerado utilizar el software denominado LabView debido a la posibilidad de vinculación con

microcontroladores, por ser visualmente agradable para el usuario y por su facilidad de manejo. La interfaz posee un botón de encendido, con el cual se activará el sistema y un botón de paro, el cual se utilizará para finalizar la prueba. También cuenta con dos botones que permiten la activación de cada uno de los paneles solares.

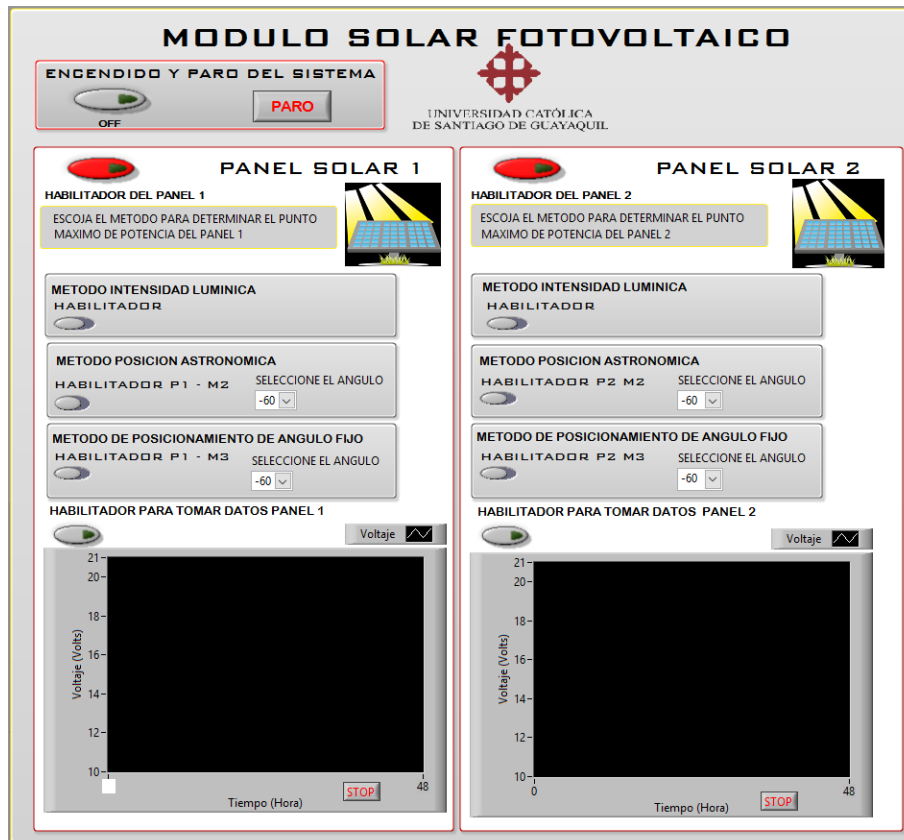


Figura 3. 10: Interfaz realizada en LabView
Fuente: Elaboración propia.

Cuenta con tres bloques destinados a cada uno de los métodos incluidos en el proyecto. El método de intensidad lumínica solamente cuenta con un botón de encendido debido a que es un proceso completamente automatizado y no requiere el ingreso de ningún parámetro. El método de programación astronómica cuenta con su botón de selección de método y tres celdas en las cuales se debe ingresar parámetros como hora de inicio de prueba, intervalo de tiempo en que se desea girar el panel y el ángulo en que girará el mismo. El método fijo cuenta con su botón de selección de método y una celda para ingresar el ángulo en que se desea posicionar el panel. Posee un botón para

activar la recopilación de datos y la realización de gráficas para visualizar el voltaje y la corriente de cada panel en tiempo real. La conexión física con la tarjeta de adquisición de datos se realiza mediante un convertidor de USB a TTL.

ii) Funciones de la interfaz

- **Encendido y paro**

Permite dar marcha al sistema y detener las pruebas.

- **Activación y selección de método de funcionamiento del panel**

Permite activar los paneles solares y seleccionar con que algoritmo o modelo se desea trabajar en cada uno de los paneles. También se debe activar la sección de recopilación y muestreo de datos como lo son el voltaje y la resistencia.

En el caso del modelo de programación astronómica, se procederá a ingresar la hora en la que iniciará la prueba, el ángulo de inicio, la variación de tiempo con la cual se desea haya un giro de los paneles y la cantidad de grados que girará. Para brindar la facilidad del manejo de esta sección, se ha procedido a ingresar una tabla de referencias con valores preestablecidos en la cual el usuario podrá guiarse en base a la hora en la que inicia la prueba y la variación de tiempo con la cual decide que haya un giro en los paneles.

En el modelo de panel fijo simplemente se establece el ángulo en el cual se decide que inicie la prueba. Y en el modelo o algoritmo de intensidad lumínica, no se tendrá que seleccionar ningún dato previo a la prueba debido a que es un modelo completamente autónomo, el cual tomará las decisiones de giro de los paneles en base a la luz receptada por medio de las fotorresistencias adaptadas a los mismos.

- **Visualización y almacenamiento de resultados**

Permite la visualización y almacenamiento de los resultados obtenidos acerca de la recepción de voltaje y corriente en cada uno de los paneles solares utilizados en la prueba. Mostrando los datos en una interfaz para su fácil apreciación y posteriormente, poder realizar un análisis comparativo sobre la eficiencia de cada panel y así hallar el método más eficiente.

3.4.2. Análisis de la comunicación desde el microcontrolador

La tarjeta de adquisición de datos del sistema de control del prototipo posee tanto un Pic 16F887 el cual previamente programado recogerá la información enviada por las entradas analógicas del sistema y las convertirá a datos digitales, los cuales enviará por medio de sus pines de comunicación (RX y TX), los cuales se encuentran comunicados con los pines de comunicación del convertidor USB a TTL.



Figura 3. 11: Conector USB a TTL.
Fuente: Elaboración propia.

Mediante el uso de este convertidor se podrá obtener una conexión entre el microcontrolador y la interfaz de usuario, entre los cuales se enviarán datos constantemente el uno al otro para la ejecución de varias órdenes

previamente programadas en el microcontrolador. Ambas partes de esta comunicación poseen elementos de control sobre el prototipo.

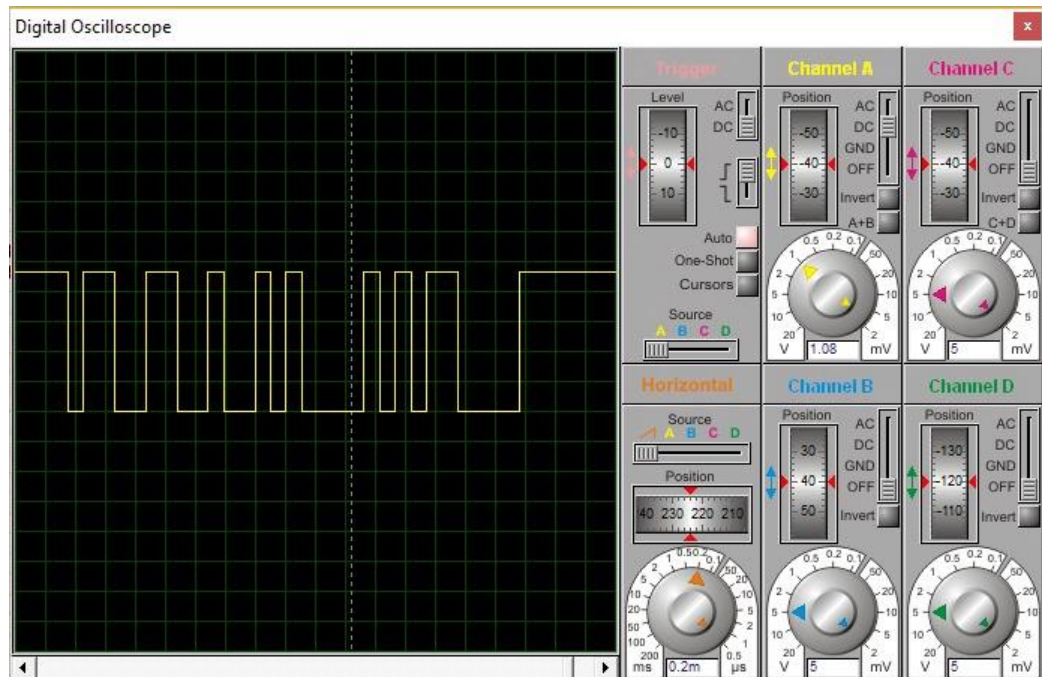


Figura 3. 12: Trama de la comunicación serial
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.11 se puede observar la transferencia de datos mediante el uso de comunicación serial entre la interfaz de usuario y el microcontrolador.

3.4.3 Análisis de la interfaz en el ordenador

Se recomienda realizar la instalación de software NI-VISA, NI-488.2 y también el módulo LabView Datalogging and Supervisory Control (DSC). Para tener un correcto acceso al puerto serial, una vez instalados los programas recomendados, mediante el uso de LabView se inicia una sesión VISA., Para la configuración del tipo de comunicación serial, se tendrá que habilitar el "Visa Configure Serial Port", el cual permite identificar el puerto serial al cual fue enlazado el conector USB a TTL; de esta manera en conjunto con bloques de LabView se realizó la configuración de la lectura de la tarjeta de adquisición de datos.

Por otra parte mediante la librería “Datalogging and Supervisory Control (DSC)” se fijaron bloques que habilitan la lectura de señales de variables (Voltaje y corriente) y permite la selección y escritura y envío de señales como lo serán la activación y desactivación de paneles, selección de método y parámetros como los ángulos en los cuales iniciarán la prueba los paneles fotovoltaicos.

3.5. Diseño de placa PCB

En este punto se abordará el diseño y desarrollo de la placa utilizada para el sistema de control, desde su desarrollo en el software llamado “Proteus” hasta el resultado final de la implementación de los componentes que van soldados a la placa.

3.5.1 Diseño de PCB en Proteus

Se realizó mediante el uso del software Proteus, el diseño de una placa de doble cara con sus respectivos componentes, la placa posee 10 centímetros de ancho por 7 centímetros de alto y un tamaño de pista de 2mm.

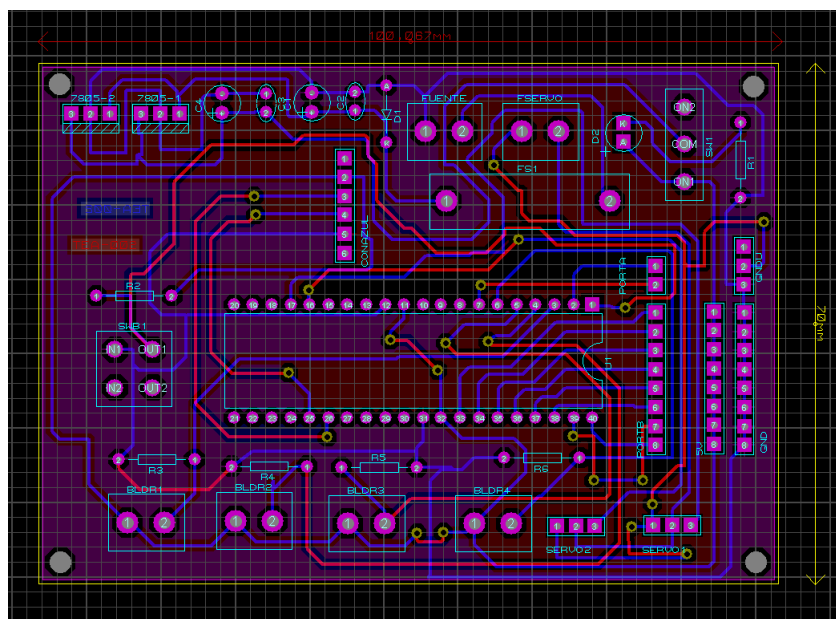


Figura 3. 13: Diseño de PCB.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.12, se puede observar el resultado del diseño y ruteado de una tarjeta doble cara. Se desarrolló doble cara debido a que se deseaba obtener una placa lo mas pequeña posible, sin que afecte los parametros e indicaciones fundamentales a la hora de desarrollar el diseño de una placa, debido a que esta placa se encuentra dentro de una caja resistente al agua, que mientras menor sean sus dimensiones, tendrá un menor costo y así mismo brindará una mayor estética final al prototipo.

Como se puede observar en la figura 3.12, las líneas rojas representan la cara frontal de la placa y las líneas o rutas azules representan la cara posterior. Los anillos amarillos reflejados en la gráfica recientemente mencionada, son orificios que al ser soldados atravesarán la placa de lado a lado y de esta manera conectará ambas rutas, tanto la frontal (líneas de color rojo) como en la posterior (líneas de color azul). Se ha realizado la ubicación de cada uno de los componentes que se incluyen en la tarjeta de adquisición de datos, detallando sus dimensiones exactas, y así una vez se tenga la placa en físico, no haya ningún inconveniente al momento de soldar cada uno de sus componentes.

3.5.2 Componentes soldados en la placa

A continuación se mostrará una simulación del resultado final de la parte frontal de la placa con sus componentes soldados, identificándolos cada uno de ellos en una lista:

1. Regulador de voltaje 7805
2. Capacitor de 100 nf
3. Capacitor de 100 uf
4. Diodo 4007
5. Fuente de Energía
6. Led
7. Switch ojo de cangrejo de dos posiciones
8. Resistencia de 330 Ω

9. TTL 232R (convertidor de TTL a USB)
10. Portafusible
11. Puerto disponible para futuras entradas analógicas o digitales en puerto A
12. Zócalo de 3 pines hembra
13. Resistencia de 10K Ω
14. Pulsador de 4 patas
15. Pic 16F788
16. Zócalo 8 pines hembra
17. Resistencia de 1K Ω
18. Borneras de 2 entradas

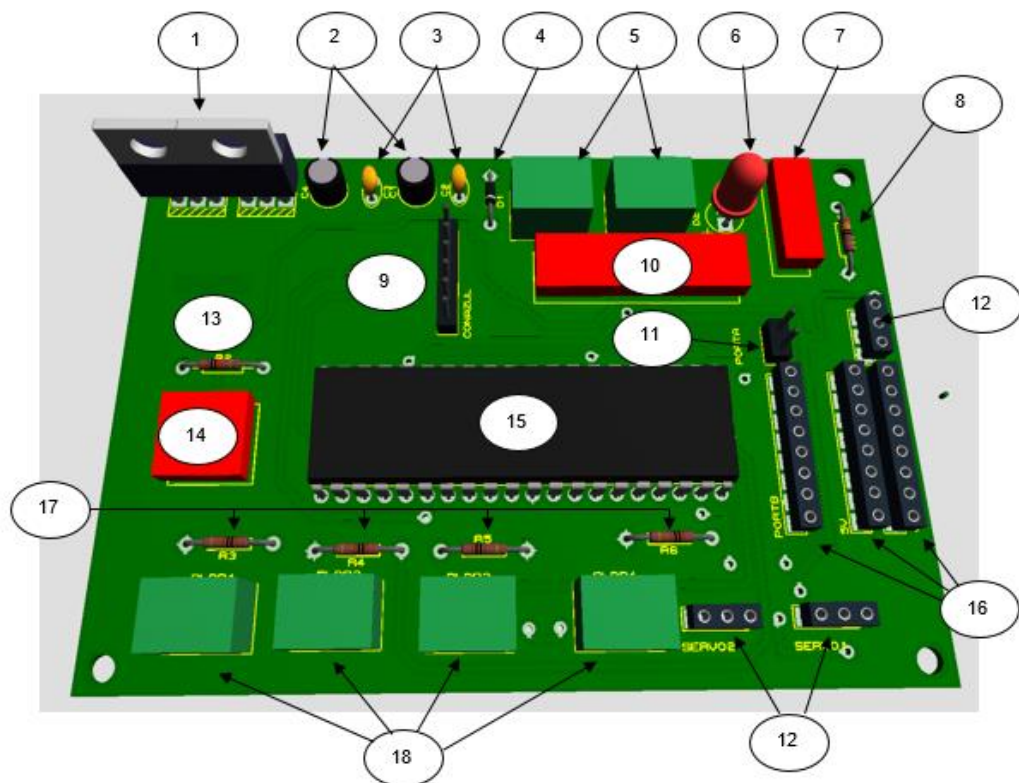


Figura 3. 14: Simulación con componentes.
Fuente: Elaboración propia.

3.6 Pruebas de prototipo

Primero, una vez adquiridos todos los componentes del prototipo se procede a realizar pruebas de su correcto funcionamiento, mediante programaciones básicas en el microcontrolador y el uso de un protoboard. Estas pruebas se realizan para comprobar que no existan fallas en los componentes, previo a su programación y de esta manera evitar futuras complicaciones a lo largo del desarrollo del proyecto. Entre los componentes a los que se le realizaron pruebas de funcionamiento se encuentran las fotorresistencias de $8K\Omega$, los servomotores MG996R, el Pic 16F887 y los módulos de sensor de corriente ACS712.



Figura 3. 15: Prueba del panel solar.
Fuente: Elaboración propia.

Ya comprobado el correcto funcionamiento de los componentes anteriormente mencionados se procedió a verificar los paneles fotovoltaicos, con los paneles fotovoltaicos expuestos a la luz solar y con la ayuda de un multímetro se procedió a verificar que generen los valores de tensión y corriente ofrecidos en la hoja del fabricante. Se hicieron varias pruebas en escenarios en los cuales variaba rotundamente la intensidad lumínica para comprobar el cambio tanto de voltaje como de corriente. En el caso de mayor eficiencia ofrecieron 20,7V y 0.45A, en un escenario en el cual recibe radiación directa; y en un escenario en el cual se encuentre sin recibir luz, su voltaje desciende a 13.4 V y su amperaje a 0.02A.

Con los componentes comprobados y con la tarjeta de adquisición de datos ya soldada y lista para incluirla físicamente en el prototipo, se realizó el montaje de cada componente en la base metálica. Se verificó que las dimensiones sean las correctas para cada uno de los elementos incorporados y se realizaron suaves movimientos de cada uno de los paneles solares para verificar que no haya ningún estiramiento forzado de algún cable y así proceder a ocultar los cables en canaletas para un mejor acabado estético del prototipo.

```
sub procedure ver(dim numero as byte)
  if numero = 1 then    '30
    giro1=103
    giro2=249
  else
    if numero = 2 then  '45
      giro1=106
      giro2=246
    else
      if numero = 3 then  '60
        giro1=109
        giro2=243
      else
        if numero=4 then  '75
          giro1=112
          giro2=240
        else
          if numero=5 then  '90
            giro1=114
            giro2=238
          else    '0
            if numero=0 then
              giro1=98
              giro2=251
            end if
          end if
        end if
      end if
    end if
  end if
end sub
```

Figura 3. 16: Programación de prueba del servomotor
Fuente: Elaboración propia.

En la figura recién mostrada, se puede apreciar la programación para la prueba de los servomotores, verificando el correcto funcionamiento de los mismos, respondiendo de manera adecuada al giro solicitado en la programación, mostrando un ligero error el cual es despreciable.

```

*****'PANEL1
VALORRES1=VALOR1-VALOR2
VALORRES2=VALOR2-VALOR1

IF ((VALORRES1>0) AND (VALORRES1<11)) THEN
'NO MOVER
ELSE
IF (VALORRES1>10) THEN
'MOPVERSE PARA ARRIBA
ELSE
IF ((VALORRES2>0) AND (VALORRES2<10)) THEN
'NO MOVER
ELSE
IF (VALORRES2>10) THEN
'MOPVERSE PARA ABAJO

*****'PANEL 2
VALORRES3=VALOR3-VALOR4
VALORRES4=VALOR4-VALOR3

IF ((VALORRES3>0) AND (VALORRES4<11)) THEN
'NO MOVER
ELSE
IF (VALORRES3>10) THEN
'MOPVERSE PARA ARRIBA
ELSE
IF ((VALORRES4>0) AND (VALORRES3<10)) THEN
'NO MOVER
ELSE
'IF (VALORRES4>10) THEN
'MOPVERSE PARA ABAJO

```

Figura 3. 17: Programación para prueba de LDR
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.17 se puede ver el proceso realizado para probar la función de seguidor solar, ejecutada por las LDR, las cuales envían un bit al microcontrolador y el mismo se encarga de realizar la respectiva conversión y posteriormente calcular una media entre las LDR y girar el panel fotovoltaico al lado que reciba menos intensidad de luz.

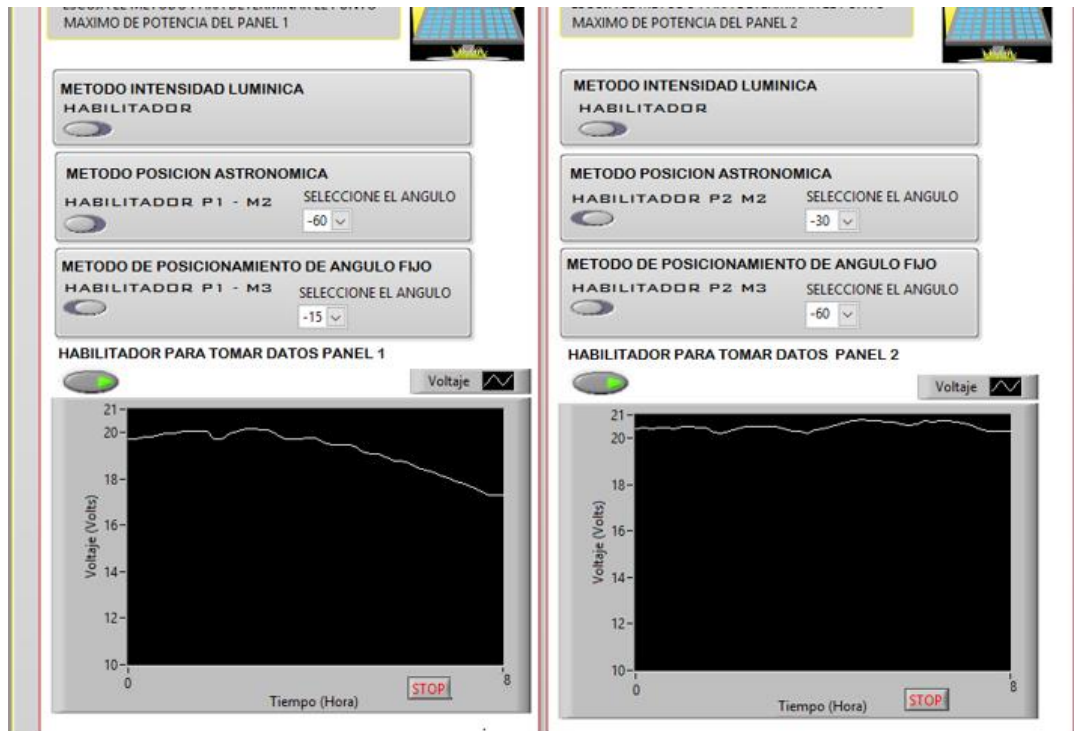


Figura 3. 18: Prueba de interfaz.
Fuente: Elaboración propia.

Ya con todo el prototipo ensamblado se procedió a realizar la comunicación con la interfaz de usuario, para verificar el funcionamiento de la interfaz y a su vez la transferencia de datos entre la misma y el microcontrolador. Se comprobó cada una de las funciones previamente programadas tanto en el microcontrolador como en la interfaz de usuario y el correcto desempeño del prototipo del módulo solar fotovoltaico.

3.7 Calculo de costos

A continuación se mostrará un análisis que permitirá determinar el costo de los componentes físicos como lo son: la estructura, tarjeta de adquisición de datos, sensores y actuadores.

Tabla 3.5. Lista de gastos realizados en el trabajo de titulación

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNIDAD	P. TOTAL
2	Panel solar 10W	\$ 30.00	\$ 60.00
2	Servomotor MG996R	\$ 25.00	\$ 50.00
1	PIC 16F887	\$ 9.00	\$ 9.00
4	Fotorresistencia de 8K	\$ 1.20	\$ 4.80
2	Sensor de corriente ACS712	\$ 40.00	\$ 80.00
1	Convector USB a TTL	\$ 10.00	\$ 10.00
1	Conjunto de componentes para la placa	\$ 26.00	\$ 26.00
1	Quemador PickIt 3	\$ 35.00	\$ 35.00
2	Tubos cuadrados de media	\$ 40.00	\$ 80.00
1	Unión para servo y eje del panel elaborada en torno	\$ 80.00	\$ 80.00
1	Caja para proteger tarjeta	\$ 5.00	\$ 5.00
1	Fuente 12 V - 2 A	\$ 8.00	\$ 8.00
1	Elaboración de estructura	\$ 180.00	\$ 180.00
2	Caja para proteger servomotores	\$ 8.00	\$ 8.00
2	Chumaceras	\$ 15.00	\$ 30.00
1	Cables para conexiones	\$ 2.00	\$ 2.00
1	Impresión de placa de doble cara	\$ 50.00	\$ 50.00

TOTAL	\$ 717.80
-------	-----------

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado del diseño y análisis del prototipo desarrollado

El desarrollo del módulo solar fotovoltaico, para obtener el punto máximo de potencia de los paneles solares, fue detallado en el capítulo anterior. En este capítulo se efectuará la presentación de los resultados obtenidos una vez finalizada la implementación del módulo solar fotovoltaico.

4.1.1 Sistema mecánico y físico

Para la implementación final del prototipo se realizó una estructura metálica que cumple la función de base del prototipo, cuyas medidas son de 160 cm de ancho, 41 cm de largo y 110 cm de alto. Para su construcción se utilizó: 2 tubos cuadrados de media, con los cuales se realizó la respectiva soldadura de los mismos con un diseño previamente desarrollado. También se elaboró en un torno 2 uniones para conectar cada servo con el eje de cada panel.



Figura 4. 1: Unión de servomotor con eje del panel.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Sensores y actuadores

En lo que respecta al funcionamiento de los sensores y los actuadores, se puede apreciar que se encuentran en muy buenas condiciones, cumpliendo las funciones para las cuales fueron seleccionados.

Los módulos de sensor de corriente ACS712, ubicados entre los terminales de cada panel solar y la tarjeta de control, cumplen a la perfección su función de enviar señales que contienen los datos del voltaje y corriente producidos por cada panel solar. Se visualizó mediante LabView los valores de corriente y voltaje que van ingresando, comprobando su variación a partir de un ambiente totalmente oscuro y aumentar lentamente hasta alcanzar un ambiente con radiación directa del sol.

De igual manera, las LDR perciben la intensidad lumínica generada por el sol, creando una parametrización sobre cuanta luz recibe cada LDR y así mismo, cuál de ellas recibe más, y de esta forma hacer rotar al panel fotovoltaico hasta posicionarlo en su punto máximo de potencia. Se utilizó la prueba realizada mediante la programación del PIC, comprobando el desempeño de la función de seguidor solar, determinando la intensidad lumínica que recibe cada uno de ellas, identificando cual recibe más luz y realizando el giro del servomotor hasta equilibrar el voltaje entregado por las 2 LDR.

Como actuadores, contamos con 2 servomotores MG996R de engranajes metálicos, los cuales están encargados de realizar la rotación del panel fotovoltaico una vez que recibe la orden del microcontrolador, se ha configurado los servomotores para que realicen giros de 15 grados debido a la poca variación de recepción de luz que representaría un giro menor. Los desplazamientos solicitados desde el ordenador corresponden a los desplazamientos reales, con un error muy pequeño. Se utilizó una programación en el microcontrolador, para comprobar el correcto giro de los servomotores en base al giro solicitado.

4.1.3 Sistema de control

La programación del microcontrolador en el módulo solar se cumplió, respondiendo con una gran eficiencia debido a que se requería la misma, más que todo para el correcto desempeño del método de intensidad lumínica, el cual es el de mayor autonomía de todo el proyecto. El microcontrolador recibe y envía datos a la interfaz, envía órdenes a los servomotores para que realicen su respectivo giro y recibe los datos de cada uno de los sensores, los procesa y toma la medida pertinente a cada caso.

4.1.4 Interfaz del usuario

La comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos y la interfaz de usuario realizada en LabView, respondió acorde a lo esperado, cumpliendo con su función de enviar y recibir datos entre cada una de las partes y a su vez permitir un mejor manejo y control del módulo solar fotovoltaico. Mediante la interfaz de usuario se logra dar inicio a cada prueba así como también detenerlas, seleccionar el método con el que se desea trabajar cada panel y finalmente generan una gráfica en tiempo real del voltaje receptado de los paneles solares.

4.2 Análisis de las pruebas de prototipo

4.2.1 Análisis de las características del sistema

Al culminar el proyecto que está orientado en el desarrollo de un módulo solar fotovoltaico para obtener el punto máximo de potencia, las características que se consideraron al inicio del proyecto, serán analizadas a continuación.

Se usó un microcontrolador PIC16F887, a una frecuencia de 4MHz, el cual no generó ningún problema en su desempeño ni en su rendimiento. Se utilizó la comunicación serial del microcontrolador a través de sus pines RX y TX

para el respectivo envío y recepción de datos con la interfaz de usuario, esta comunicación se logra gracias al uso de un conector USB a TTL.

Para la alimentación del prototipo se utiliza dos fuentes distintas, una fuente de 12V a 2 amperios que se encargará mediante una regulación de voltaje, alimentar a los servomotores, y también se dará uso a la alimentación proporcionada por el ordenador para alimentar al resto de la tarjeta de control. Se hace la separación en la alimentación para que cualquier alteración ocurrida en los servomotores no afecte al microcontrolador ni al resto de sus componentes. Adicional todas las conexiones que fueron realizadas en este proyecto han sido ocultas mediante el uso de canaletas blancas pegadas a la estructura metálica.

4.2.2 Análisis de las funciones del sistema

Al inicio del proyecto se planteó la realización de 5 funciones las cuales fueron logradas y detalladas a continuación:

- Se logró determinar el punto de potencia máxima gracias a la programación previamente ingresada en el microcontrolador y el uso de las LDR para determinar la intensidad lumínica recibida a los costados del panel fotovoltaico, hallando una media entre ellas y de esta manera ubicando constantemente al panel solar en su punto máximo de potencia.
- El valor de la tensión y de la corriente fueron determinados gracias al uso de los módulos de sensor de corriente ACS712, los cuales permitieron enviar mediante señales, los datos deseados al microcontrolador, y este a su vez los almacenaba y reflejaba en la interfaz de usuario.

- Mediante una correcta programación de la interfaz de usuario realizada en LabView, se almacenó los datos de voltaje y corriente en intervalos de tiempo previamente establecidos en la interfaz, los valores fueron almacenados en una base de datos.
- La interfaz de usuario permite un amplio control e interacción sobre el módulo solar, el cual abarca desde encender el módulo y seleccionar el método deseado hasta reflejar en tiempo real mediante una gráfica, el voltaje obtenido de los paneles solares mientras realiza un respaldo del mismo.
- Los datos recopilados por la interfaz previamente mencionada, fueron enviados a un documento en Excel en el cual se realizó una gráfica comparativa entre los mismos y se obtuvo el valor de optimización entre los métodos ejecutados.

4.2.3 Análisis general del sistema

En términos generales el prototipo del módulo solar fotovoltaico trabaja de manera muy óptima, se logró desarrollar una estructura base bastante sólida para prolongar el tiempo de vida del proyecto, y la programación tanto del microcontrolador como de la interfaz cumplieron las expectativas planteadas al inicio del proyecto.

Se realizaron pruebas entre el método fijo, el cual únicamente ubica al panel solar en un ángulo previamente establecido a lo largo de toda la prueba, y los métodos de optimización, tanto el método astronómico, el cual se basa en un seguimiento del sol con relación a su trayecto marcado a lo largo del día, y el método de intensidad lumínica, el cual a diferencia del modelo anterior, su prioridad no será seguir el recorrido del sol directamente, en su lugar, buscará constantemente el punto máximo de intensidad lumínica, así

optimizando de manera más eficiente el tiempo en el que el sol es totalmente tapado por nubes y no se recibe radiación directa.

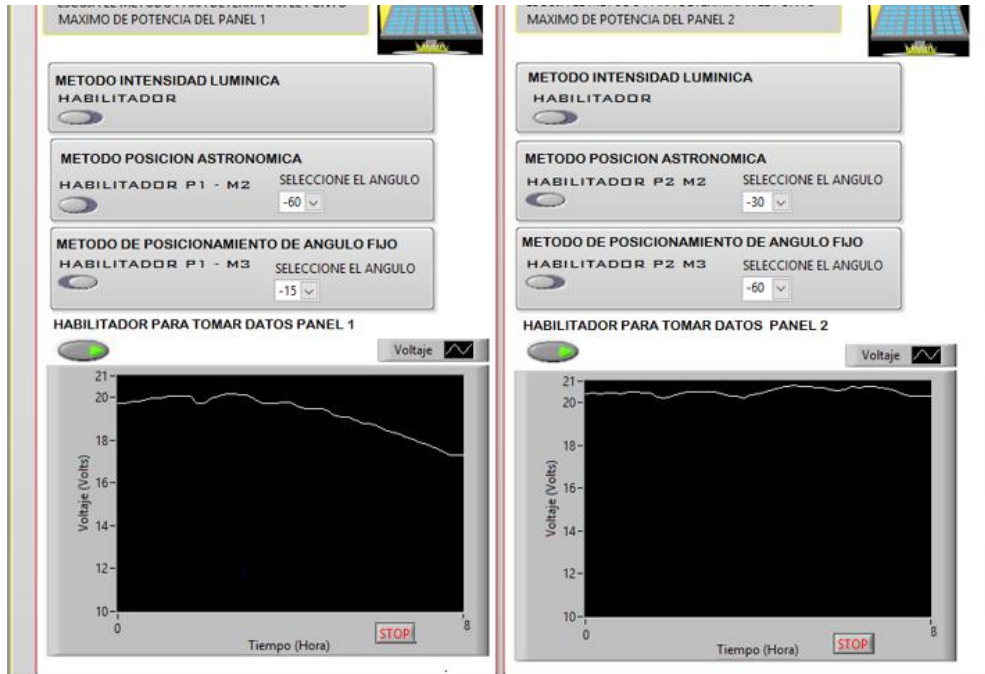


Figura 4. 2: Interfaz de usuario en ejecución.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.2 se puede observar un claro ejemplo de cómo funciona la interfaz de usuario a lo largo de toda una prueba, almacena los datos que recibe del microcontrolador, y a su vez muestra una gráfica en tiempo real donde se puede apreciar un patrón de seguimiento del voltaje producido por los paneles solares.

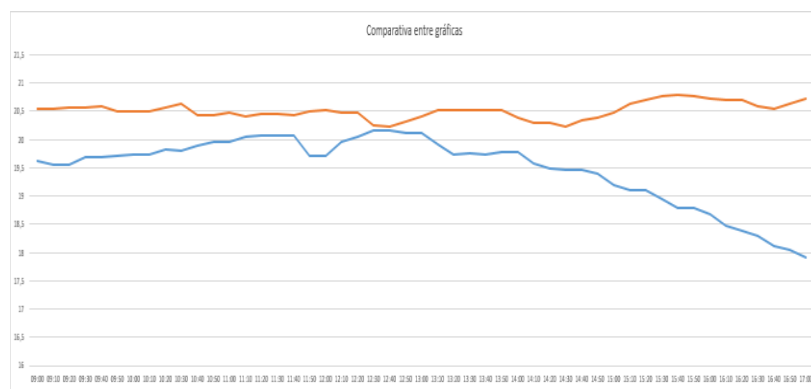


Figura 4. 3: Grafica comparativa de la producción de los paneles.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3, se aprecia el posterior análisis realizado a los datos almacenados por la interfaz, obteniendo una clara muestra de cómo el método fijo no es fiable a lo largo de todo un día de pruebas debido a que el desplazamiento del sol causará que deje de recibir radiación directa. Por otro lado, el método astronómico, el cual es utilizado en este ejemplo, tiene una muy buena rentabilidad pero así mismo no es del todo eficiente debido a que por más que siga permanentemente el trayecto del sol, se verá inútil una vez que el sol se encuentre tapado por alguna nube y deje de ser el punto máximo de intensidad lumínica.

Por otro lado el método de intensidad lumínica resulto ser el más eficiente debido a que mientras el sol se encontraba plenamente visible, asemejaba su tarea a la del método astronómico, pero una vez que el sol no se encontraba en contacto directo con el panel solar, automáticamente buscaba un nuevo punto donde se halle el punto máximo de radiación solar y de esta manera seguir consiguiendo el punto máximo de potencia que puede generar el panel solar.

El método astronómico generó una optimización de potencia producida del 28,8% en comparación con el método fijo, debido a su constante seguimiento de la trayectoria solar, generando la optimización sobre todo en las últimas horas del día.

El método de intensidad lumínica en cambio obtuvo una optimización de potencia generada del 30,7% debido a su constante búsqueda del punto máximo de radiación solar, creando prácticamente una constante en lo que respecta a radiación recibida, a excepción de caídas totales de radiación en momentos nublados del día.

4.3 Cumplimiento de los objetivos

A continuación se podrá observar en detalle el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del trabajo de titulación, tanto objetivos específicos como el objetivo general.

4.3.1 Objetivos específicos

Se elaboró con éxito un seguidor de punto máximo de potencia, el cual es controlado por un microcontrolador previamente programado con las funciones deseadas, el sistema de control permite el análisis y procesamiento de los datos recibidos de los paneles solares en simultáneo. La interfaz de usuario desarrollada en LabView cubre totalmente las expectativas iniciales al permitir un fácil manejo de parte del usuario y a su vez logra almacenar y mostrar en tiempo real los datos obtenidos de los paneles solares. Se realizó un análisis de posibles métodos de seguidores solares y se desarrolló los dos con los que actualmente cuenta el proyecto, creando un sistema de búsqueda de potencia máxima para los paneles fotovoltaicos.

4.3.2 Objetivo general

Se logró desarrollar un sistema para determinar el punto máximo de potencia solar en paneles fotovoltaicos, mediante el uso de una tarjeta de adquisición de datos con un microcontrolador entre sus componentes, y la creación de una interfaz con ordenador, la cual permite almacenar y reflejar los valores procesados por el microcontrolador. Se desarrollaron con éxito los métodos considerados para este prototipo, los cuales respondieron de manera favorable en las pruebas realizadas.

4.4 Análisis de la metodología

4.4.1 Análisis de la metodología y el tipo de investigación implementadas

Todos los objetivos planteados al inicio del trabajo, se han alcanzado debido a la correcta metodología utilizado a lo largo del trabajo de investigación. La metodología bibliográfica fue fundamental debido a que sirvió para recolectar una gran cantidad de material bibliográfico, material que sirvió para obtener un mayor grado de conocimientos en el área de investigación de este proyecto. Sirvió para formar los pilares del trabajo, asegurando las bases con conocimientos sólidos acerca de lo que se planteaba desarrollar. Luego, la implementación y desarrollo del prototipo fue fundamentada con la metodología experimental, debido a que se necesitó realizar varias pruebas tanto de cada uno de los componentes como del proyecto en general una vez implementado.

La investigación correlacional con su respectivo enfoque cuantitativo, donde se respalda el proyecto de investigación, permitió el control y registro tanto del voltaje como la corriente de los paneles fotovoltaicos, así como el nivel de intensidad lumínica recibida por las LDR. Debido a todo lo mencionado anteriormente en este punto, se logró declarar la problemática en la cual está enfocado el trabajo de investigación y plantear las debidas soluciones. Se definió el proceso que se iba a llevar a cabo para la realización tanto de la parte física del proyecto, como la parte de programación tanto del microcontrolador como de la interfaz de usuario. Se eligieron los componentes que conformarían el prototipo a realizar y se hicieron las respectivas pruebas de los mismos para comprobar su correcto funcionamiento y las pruebas finales una vez el prototipo estuviese completamente implementado. Luego se procedió a desarrollar el análisis de gastos realizados para la realización del proyecto de investigación y finalmente se concluyó con la presentación de resultados y el análisis de los mismos.

4.4.2 Análisis de la hipótesis

El método astronómico generó una optimización de potencia producida del 28,8% en comparación con el método fijo, debido a su constante seguimiento de la trayectoria solar, generando la optimización sobre todo en las últimas horas del día.

El método de intensidad lumínica en cambio obtuvo una optimización de potencia generada del 30,7% debido a su constante búsqueda del punto máximo de radiación solar, creando prácticamente una constante en lo que respecta a radiación recibida, a excepción de caídas totales de radiación en momentos nublados del día. De esta manera queda comprobado que la hipótesis ha sido cumplida en su totalidad, debido a que supera con creces el 20% de optimización planteado al inicio del proyecto.

4.4.3 Análisis de la solución del problema

Más que una solución, es el primer paso para un futuro con mayores implementaciones de sistemas de energía solar fotovoltaica, desarrollando un prototipo que muestra cómo se puede llegar a optimizar el punto máximo de potencia de los paneles solares, es decir, generar mayor electricidad sin necesidad de aumentar la cantidad de paneles fotovoltaicos. Permite que sea más llamativa la idea de una instalación de un sistema solar fotovoltaico en el cual se verá reducido el tiempo de recuperación de la inversión inicial. Fomentando una cultura que apoye a las energías limpias, como lo es la energía solar, y brindando aporte al medio ambiente.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- A través del dispositivo de seguidor de luz se puede conseguir un incremento de la eficiencia del sistema fotovoltaico superior al 25%
- El uso de sistemas seguidores solares, permiten mejorar la eficiencia en sistemas fotovoltaicos, aun en países ubicados en la línea ecuatorial, como Ecuador
- Aunque en el proyecto se implementaron dos métodos de seguidores solares, a lo largo del trabajo de titulación se pudo apreciar que hay una variedad muy grande de formas o algoritmos que permiten incrementar la optimización de un sistema solar fotovoltaico.
- El correcto diseño de una interfaz de usuario, amigable e intuitiva, es fundamental en cualquier proyecto donde se desea que el usuario opere el sistema con la mayor facilidad posible y así evitar futuros inconvenientes o retrasos.
- Mediante el uso de microcontroladores se puede automatizar sistemas de energía renovables, aportando con electrónica y automatización a los paneles solares y de esta manera mejorar su eficiencia.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda tener cuidado con los cables de alimentación del prototipo, es preferible el uso de canaletas para agrupar los cables y que estén fuera de un contacto intencional y así evitar futuros percances.
- Verificar previamente a la implementación, que las cajas que serán utilizadas para cubrir tanto la tarjeta de adquisición de datos como los servomotores, sean totalmente resistentes al agua y evite filtraciones de líquidos en su interior.
- En caso de dejar el prototipo en exteriores, realizar frecuentemente una limpieza preventiva a los paneles solares y de este modo evitar la

acumulación de cualquier tipo de material que pueda afectar la eficiencia del panel solar.

- Seguir desarrollando más métodos de optimización para paneles solares, haciendo uso de las entradas y salidas que se dejaron habilitadas en la placa del módulo solar.
- Evitar días en los que el viento sea muy fuerte para evitar alguna posible caída de la estructura y el daño de los componentes con los que cuenta el módulo solar fotovoltaico.
- Tratar con responsabilidad, recordar que es un prototipo destinado a la investigación y el mal uso del prototipo puede producir daños irreparables en los componentes del sistema.

5.3 Trabajo futuro

Este trabajo de titulación se ha considerado únicamente como el primer paso de una gran serie de investigaciones y desarrollo de proyectos con este prototipo, se aspira a que sea utilizado para el desarrollo de nuevos métodos de optimización de la energía solar fotovoltaica, aumentando componentes al prototipo, así como mejorando la interfaz de usuario.

Es de gran agrado saber que se está realizando un aporte a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, entregando un prototipo que servirá como apoyo y material físico para realizar prácticas tanto en las nuevas materias a dictarse en la presente malla, así como en un futuro pueda utilizarse en la maestría de energías renovables y eficiencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

- Arenas, D., Zapata, H. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Tesis de licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Arenas, D., Zapata, H. (2011). *Piranómetro*. [Imagen]. Tesis de licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Arenas, D., Zapata, H. (2011). *Espectro solar*. [Imagen]. Tesis de licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Barzola, J. (2014). *¿Es posible la Grid Parity en Ecuador? Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, 27(1), 30-39.
- Bejarano, N. (2011). "Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de ingeniería en ecoturismo". Tesis de grado. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1884/1/15T00496.pdf>
- Bejarano, N. (2011). *Elementos de protección de un panel solar*. [Imagen]. Tesis de grado. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1884/1/15T00496.pdf>
- Bejarano, N. (2011). *Orientación de un panel fotovoltaico*. [Imagen]. Tesis de grado. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1884/1/15T00496.pdf>
- Bejarano, N. (2011). *Comparativa entre la laltitud del lugar y ángulo según la estación*. [Imagen]. Tesis de grado. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1884/1/15T00496.pdf>

- Consejo Nacional de electricidad. (Agosto de 2008). *Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica*. Quito. Disponible en <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- Consejo Nacional de electricidad. (Agosto de 2008). *Insolación Difusa Promedio*. [Imagen]. Quito.
- Consejo Nacional de electricidad. (Agosto de 2008). *Insolación Directa Promedio*. [Imagen]. Quito.
- Consejo Nacional de electricidad. (Agosto de 2008). *Insolación Global Promedio*. [Imagen]. Quito.
- Cuestas, S., Lebus, L. (2012). *Diseño de un seguidor de punto máximo de potencia*. *Revista AVERMA*. Recuperado de <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2012/2012-t004-a015.pdf>
- Delgado, J. R., Monge, S. B., Farrerons, J. B. (2011). *Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable*. *Memorias de las XVII Jornadas de Conferencias de Ingeniería Electrónica*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Espitia, H. Sierra, F. (2013). *Diseño e implementación de controladores análogos para un seguidor solar*. *Visión Electrónica: algo más que un estado sólido*, 7(1), 118-132. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3738>
- Evans, J. M., Schiller, S. (2013). *Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del Ecuador*. Recuperado de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ISEREE_Promoci%C3%B3n-de-EE-y-uso-de-Energ%C3%ADa-solar-en-vivienda.pdf
- Machado, N., Lussón, A., Oro, L., Bonzón, J., Escalona, O. (2015). *Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar*. *Revista Científica Ingeniería Energética*, 36(2), Cuba. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200008

- Mejía, A. E., Londoño, M. H., Osorio, J. C. (2010). *Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para la optimización de un sistema fotovoltaico*. *Scientia et Technica*, 1(44), 245-250.
- Nova, D. (2008). *Microcontroladores, arquitectura, programación y aplicación*. Hawai: Atlantic International University. Recuperado de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>
- Nova, D. (2008). *Componentes de un microcontrolador*. [Imagen]. Hawai: Atlantic International University. Recuperado de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>
- Nova, D. (2008). *Diagrama de desarrollo de software*. [Imagen]. Hawai: Atlantic International University. Recuperado de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>
- Nova, D. (2008). *Diagrama de programación del microcontrolador*. [Imagen]. Hawai: Atlantic International University. Recuperado de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>
- Ortiz, J. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión electrónica*, 7(1), 103-117. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3858/6761>
- Peralta, J., Lopez, Á., Barriga, A., Sosa, I., & Delgado, E. (2013). *Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador. Primer Congreso Internacional y Expo Científica Investigación Sostenible: Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Recuperado de http://www.iner.ec/congreso/images/documentos/Articulos/ISEREE2013_Peralta_Juan.pdf

Sánchez, C. (2010). *Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano*. Tesis de maestría. España: Universidad Internacional de Andalucía.

Vera, J. E., Bayona, J. F., Cayanza, R. S. (2015). *Seguimiento del punto de máxima potencia (spmp) en paneles solares*. *Visión Electrónica: algo más que un estado sólido*, 8(2), 49-53. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/search/search?simpleQuery=Seguimiento+del+punto+de+m%C3%A1xima+potencia+%28spmp%29+en+paneles+solares&searchField=query>

ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE DATOS DEL PIC16F887 DE MICROCHIP.



PIC16F882/883/884/886/887

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide operating voltage range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with software control option
- Enhanced low-current Watchdog Timer (WDT) with on-chip oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with pull-up/input pin
- Programmable code protection
- High Endurance Flash/EEPROM cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Program memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 11 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

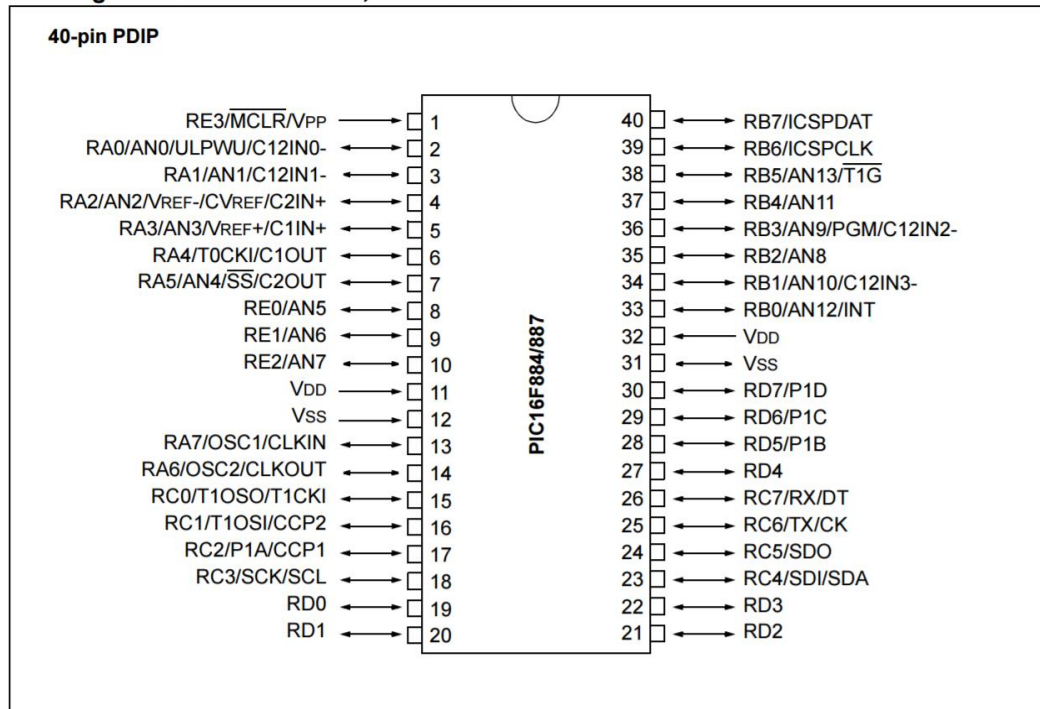
- 24/35 I/O pins with individual direction control:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pin
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of V_{DD})
 - Fixed voltage reference (0.6V)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART module:
 - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave Modes with I²C address mask

PIC16F882/883/884/886/887

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP/ CCP	EUSART	MSSP	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F882	2048	128	128	28	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F883	4096	256	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F884	4096	256	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F886	8192	368	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F887	8192	368	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1

PIC16F882/883/884/886/887

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP



PIC16F882/883/884/886/887

TABLE 3: PIC16F884/887 40-PIN SUMMARY (PDIP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	TOCKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	Facebook
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y ⁽¹⁾	MCLR/Vpp
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

ANEXO B: HOJA DE DATOS DEL PANEL SOLAR SL010-12P

SL010-12P

Temperature Coefficients

NOCT (Nominal Operating cell Temperature)	45 +/-2°C
Voltage temperature coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Current temperature coefficient (Isc)	+0.033%/°C
Power temperature coefficient (Pmpp)	-0.44%/°C
Minimum power tolerance	+/-5%

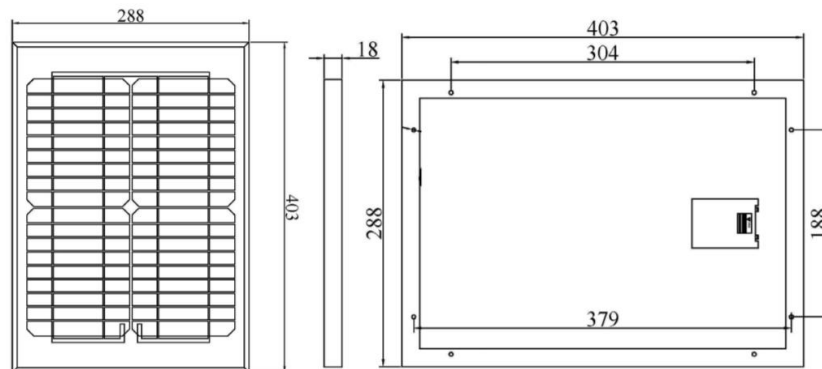


Mechanical Data

Solar Cell	36 (2x18) Poly-Crystalline
Front Glass	Tempered glass
Frame	Anodized aluminum

Electrical Data

Module Type	SL010-12P
Nominal peak power (Wp)	10W
Nominal voltage (Vmp)	18.25V
Nominal current (Imp)	0.56A
Open-circuit voltage (Voc)	22.32V
Short-circuit current (Isc)	0.65A
Operating temperature	-40°C to + 85°C
Weight	1.4kg
Dimension	403x288x17mm
STC: 1000W/m ² , 25°C	



ANEXO C: HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CORRIENTE ACS712

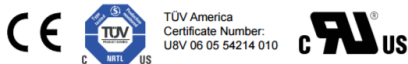


ACS712

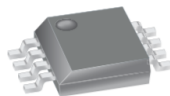
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor


Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

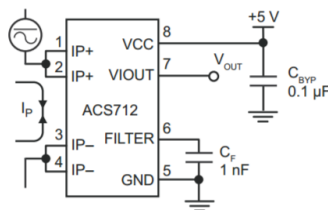
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(bsc)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{IOUT(Source)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(Sink)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

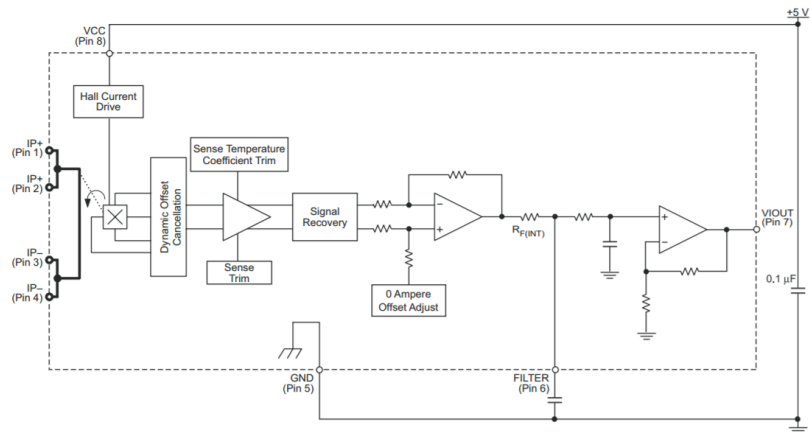


Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

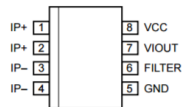
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

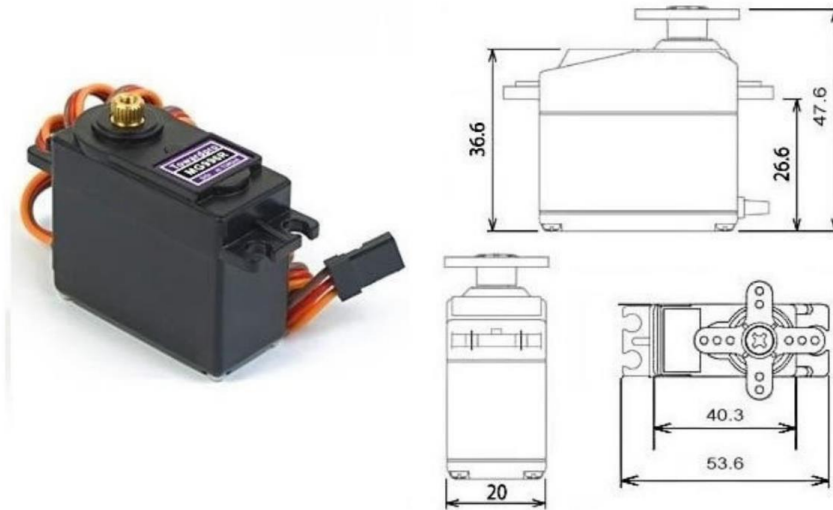


Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

4

ANEXO D: HOJA DE DATOS DEL SERVOMOTOR MG996R

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



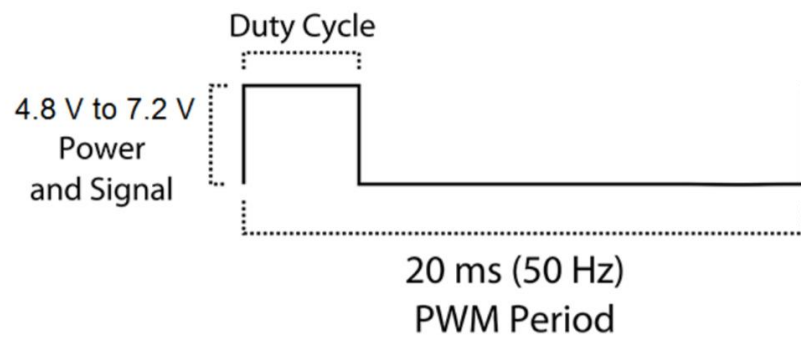
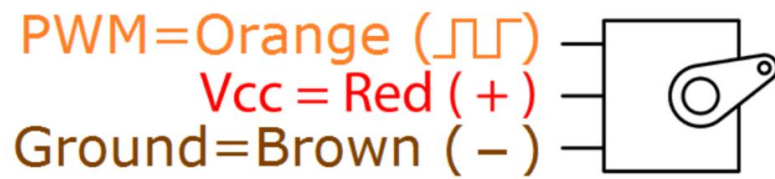
This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

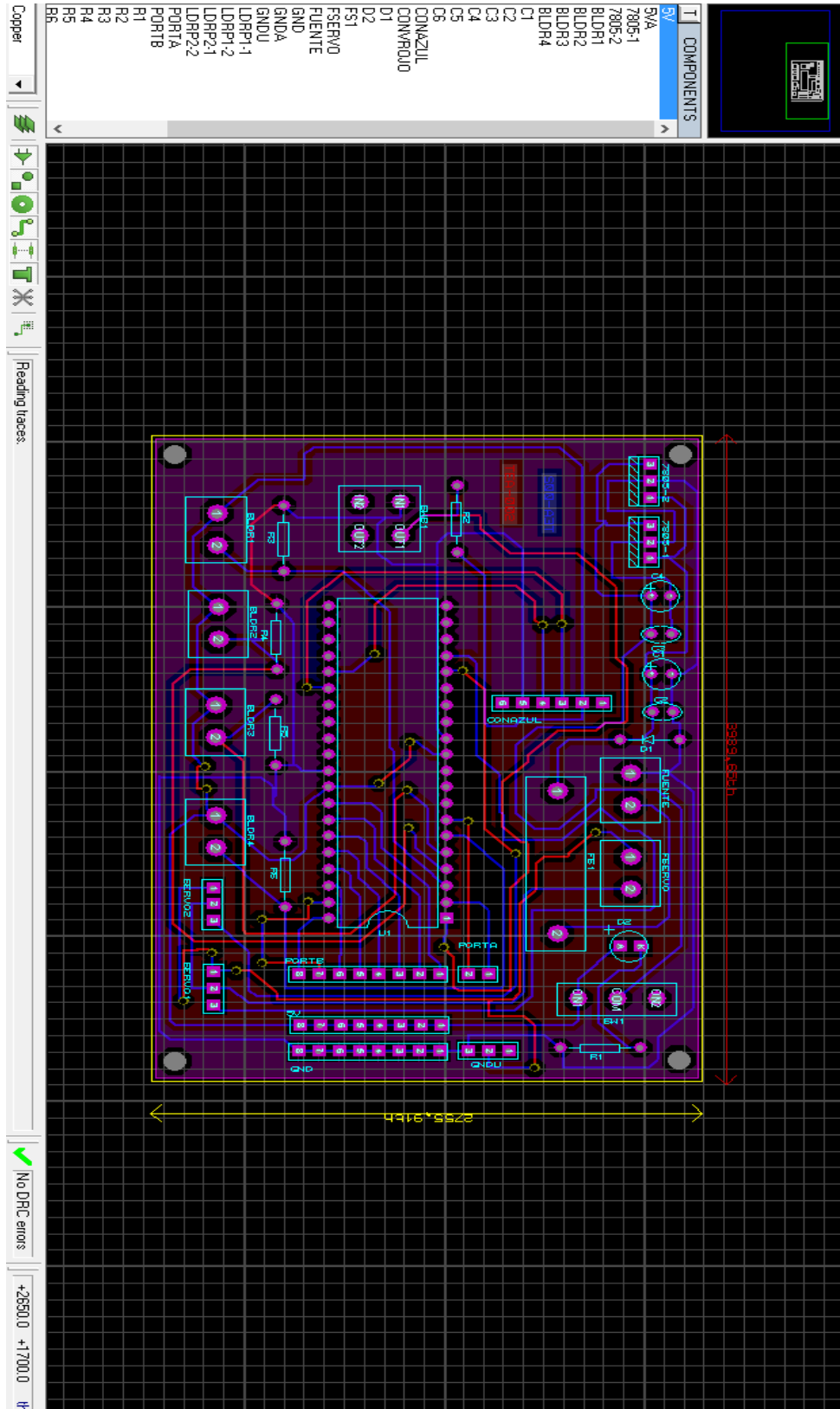
Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

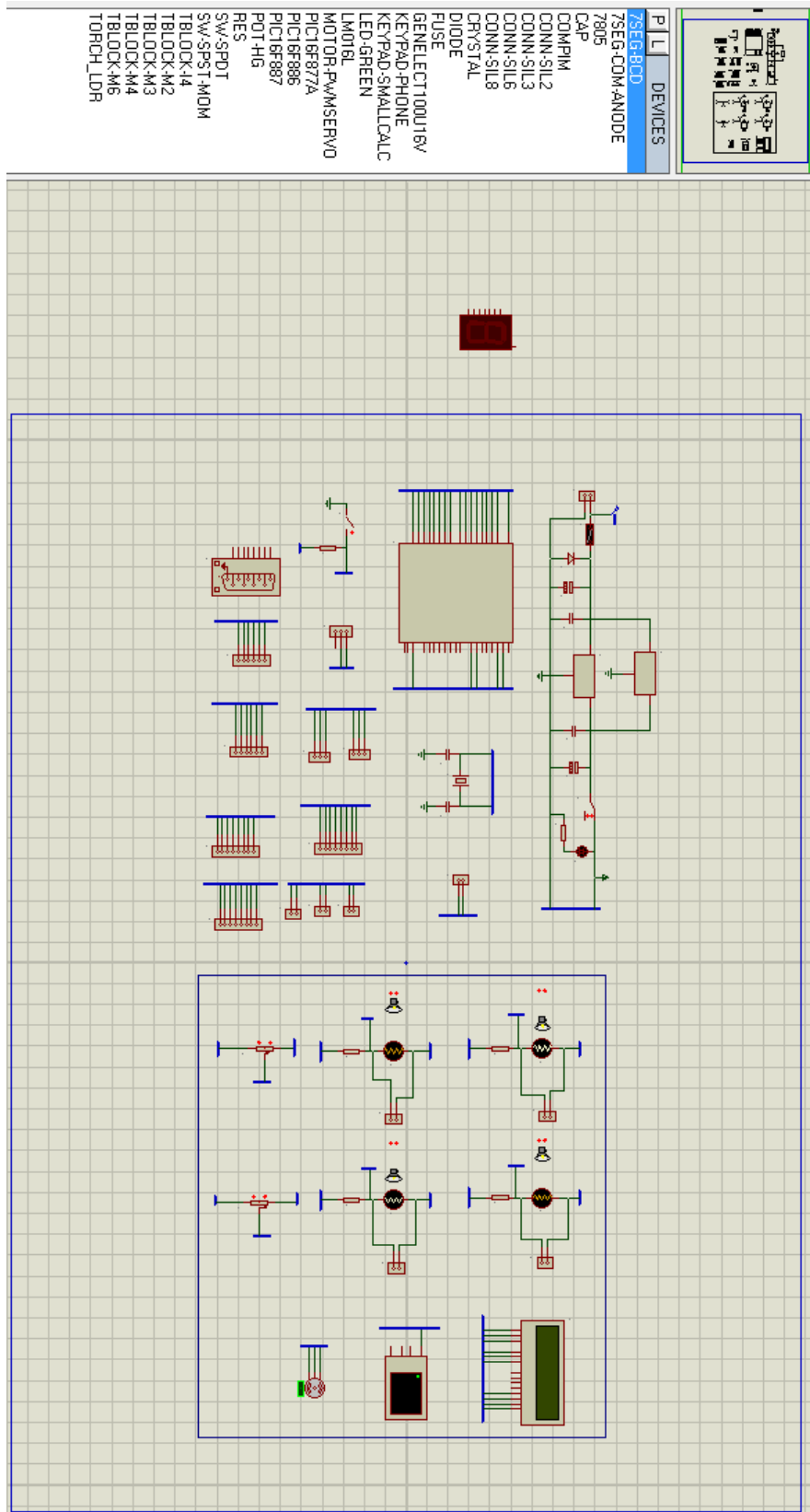
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 $^{\circ}$ C – 55 $^{\circ}$ C



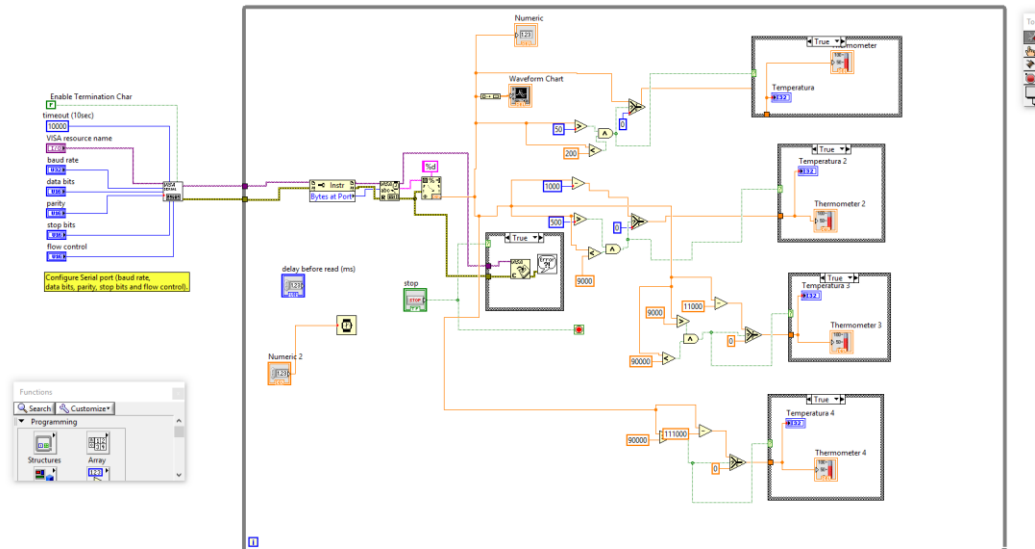
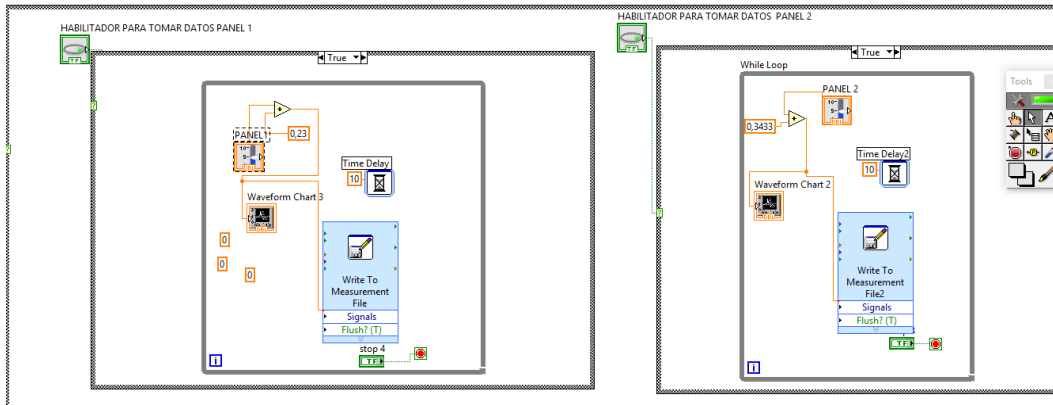
ANEXO E: DISEÑO DE PLACA REALIZADO EN PROTEUS



ANEXO F: DISEÑO ESQUEMÁTICO REALIZADO EN PROTEUS



ANEXO G: DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO REALIZADA EN LABVIEW





**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CEBALLOS MONTENEGRO, JONATHAN ANDRÉS** con C.C: # **0918802356**, autor del Trabajo de Titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO, PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO MÁXIMO DE POTENCIA DE CARGA, MEDIANTE EL USO DE MICROCONTROLADORES E INTERFAZ CON ORDENADOR** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de Marzo del 2017

Ceballos Montenegro, Jonathan Andrés
C.C: 0918802356



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño e implementación de un módulo solar fotovoltaico, para la determinación del punto máximo de potencia de carga, mediante el uso de microcontroladores e interfaz con ordenador		
AUTOR	Jonathan Andrés Ceballos Montenegro		
REVISOR/TUTOR	Eduardo Vicente Mendoza Merchán		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de marzo del 2017	No. DE PÁGINAS:	107
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía solar, automatismo, electrónica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Microcontroladores; sistemas de control; panel solar; seguidor solar; interfaz de usuario.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación está enfocado al análisis, diseño e implementación de un prototipo para la determinación del punto de potencia máxima en paneles solares, utilizando para su control un sistema basado en microcontroladores y una interfaz en un computador. Gran parte de los objetivos se logran debido a la incorporación de un microcontrolador, que permite obtener un control automático del reposicionamiento del panel solar, en base al mayor punto de intensidad lumínica y así alcanzar el punto máximo de potencia que puede ofrecer el panel solar en cualquier instancia del día, este proceso se visualizará mediante el uso de una interfaz de usuario desarrollada en LabView. Las metodologías aplicadas fueron la bibliográfica, donde se revisaron y analizaron fundamentos teóricos acerca de la energía solar fotovoltaica y sobre los diferentes métodos de desarrollo de seguidores solares existentes, lo cual fue comprobado mediante la experimentación, que contó con pruebas de funcionamiento de cada uno de los componentes del módulo solar fotovoltaico, así como el correcto funcionamiento del sistema de control. Debido a la realización de este trabajo se pudo determinar que el uso de sistemas de control mediante la aplicación de microcontroladores es de gran beneficio para sistemas fotovoltaicos debido a la optimización ofrecida con respecto a energía producida.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR	Teléfono: +593-9-88505871	E-mail: jceballos_94@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Mendoza Merchán Eduardo Vicente		
	Teléfono: +593-9-85086815		
	E-mail: eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			