

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño y construcción de un módulo solar con emulador de la altitud
solar"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Danny Paul Olmedo Torres

Daniel Leonardo Zambrano Ibarra

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

A mi hermana Tatiana y mi prima Milena mis seres más preciados mi motivación para ser alguien importante en esta vida.

A mis abuelas Nelida Galarza e Ita María Olmedo por todo el amor brindado.

A mis padres y demás familiares, por toda la inversión, paciencia y valores inculcados.

A mis compañeros de ASIRILABS que este logro sirva como ejemplo de sacrificio y motivación para nunca pierdan el horizonte de sus metas.

A mis amigos y todas esas personas que a lo largo de mi carrera me acompañaron para que hoy por hoy este proyecto sea posible.

Danny Paul Olmedo Torres

A mis padres, por ser la fuente de inspiración y motivación para lograr mis metas propuestas

A mis hermanos, por estar siempre presentes con su apoyo a lo largo de mi carrera.

Daniel Leonardo Zambrano Ibarra

AGRADECIMIENTOS

A todos los buenos educadores que he tenido el agrado de conocer, que no se rindieron conmigo y que con su formación aportaron a mi crecimiento personal y profesional.

Al Ing. Jorge Gómez, Ing. Darwin Yupa y demás compañeros que conforman mi grupo de trabajo en ASIRILABS, y mi grupo de convivencias 2005'S por los todos valiosos momentos vividos.

A mis amigos Isaac, Max, Marco, Jorge, Angela, Manuel, Wladimir, Rodrigo, Boris, Belén, Johanna, José y Víctor por ser mi apoyo y estar presente cuando más lo necesite.

Danny Paul Olmedo Torres

A los profesores, que nos brindaron su conocimientos y apoyo para realizar este proyecto.

A mi padre y hermano, por aportar con su experiencia y conocimiento en la construcción del prototipo.


A mis amigos y compañeros de la carrera, por su ayuda y guía durante mi trayectoria universitaria.

Daniel Leonardo Zambrano Ibarra

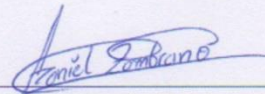
A la PhD. Emérita Delgado y PhD Juan Peralta, tutora y coordinador de este proyecto, por su tiempo y contribución para la realización de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Danny Olmedo Torres y Daniel Zambrano Ibarra damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be "Danny Olmedo Torres".

Danny Paul Olmedo Torres

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be "Daniel Zambrano Ibarra".

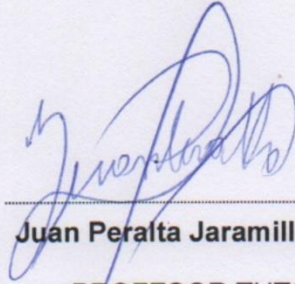
Daniel Leonardo Zambrano Ibarra

EVALUADORES



Emerita Delgado Plaza Ph.D

PROFESORA DE LA MATERIA



Juan Peralta Jaramillo Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El incremento de los gases de efecto invernadero sobre la atmósfera tiene consecuencias perjudiciales a largo plazo debido al consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Esta problemática nos afecta cada vez más por el aumento de temperatura que produce cambios climáticos, esto ha llevado a buscar otras fuentes de obtención de energía más amigables con el medio ambiente, una de estas alternativas para la obtención de energía eléctrica es el uso de sistemas fotovoltaicos.

Este tipo de alternativa se está implementando de una manera acelerada en otros países más desarrollados, lamentablemente en nuestro país no representa un gran avance el uso de estos sistemas, aportando tan solo 0.36 % de la oferta eléctrica generada hasta el 2017, a pesar de que se ha identificado que la energía solar es el área que mayor empleo genera a nivel mundial en energías renovables y que nuestra posición geográfica es muy favorable para la obtención de energía mediante este sistema.

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un equipo que ayude a instruir a los futuros profesionales en el área de energía fotovoltaica, que sirva de herramienta para fomentar desde la formación básica y bachillerato el uso de energías limpias, sostenibles y renovables.

El equipo fue construido para emular la geometría solar, para que conozcan la importancia de una correcta orientación del panel solar y se pueda aprovechar la energía obtenida del sol. Consta con tres grados de libertad que comprende los ángulos de altura solar, azimutal e inclinación del panel, y además cuenta con un sistema de adquisición de datos para lectura y posterior análisis de estos.

Fue construido en base a los requerimientos del cliente con su respectivo análisis estático para asegurar que la estructura sea rígida y resistente.

Finalmente, con la ayuda del CDTS se realizó una prueba en una institución de educación para validar nuestro prototipo donde los alumnos mostraron interés por conocer sobre el área de energía fotovoltaica.

Palabras Clave: Energías Renovables, Sistemas Fotovoltaicos, Geometría Solar, Altura Solar, Azimutal, CDTS

ABSTRACT

The increase of greenhouse gases in the atmosphere has harmful long-term consequences due to the consumption of fossil fuels for the electrical energy generation. This problem affects us gradually more and more by the increase in temperature producing climate changes, this has led to look for other sources of energy generation friendlier to the environment, one of these alternatives for obtaining electricity is using photovoltaic systems.

This type of alternative is being implemented in an accelerated way in other developed countries, unfortunately the use of these systems does not represent a great advance in our country, contributing only 0.36% of the electric supply generated until 2017, despite the fact that it has been identified that solar energy is the area that generates the most employment worldwide in renewable energies and even our geographical position is very favorable for obtaining energy through this system.

The objective of this project is to design and build a team that will help train future professionals in the area of photovoltaic energy, which will serve as a tool to promote the use of clean, sustainable and renewable energies from school education.

The equipment was built to emulate the solar geometry, so that they know the importance of a correct orientation of the solar panel and can take advantage of the energy obtained from the sun. It consists of three degrees of freedom that includes the angles of solar height, azimuth and inclination of the panel, and has a data acquisition system for reading and subsequent analysis of these.

It was built based on the client's requirements with its respective static analysis to ensure that the structure is rigid and resistant.

Finally, with the help of the CDTS, a test was conducted in an educational institution to validate our prototype where the students showed interest in knowing about the photovoltaic energy area.

Keywords: *Renewable energies, photovoltaic systems, solar geometry, solar height, azimuthal, CDTS*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Energía y sus fuentes	4
1.4.2 Energía y Radiación Solar	6
1.4.3 Geometría Solar.....	8
1.4.4 Energía Solar fotovoltaica	9
CAPÍTULO 2.....	11
2. Metodología	11
2.1 Requerimientos del cliente	13
2.2 Descripción general del sistema.....	13
2.3 Matriz de decisión.....	15
2.3.1 Descripción del reflector y su mejor alternativa	15
2.3.2 Selección de materiales.....	17
2.4 Sistema de adquisición de datos	19
2.4.1 Sensores de Arduino	19
2.5 Diseño de la estructura del módulo solar	22
2.6 Dimensionamiento de componentes mecánicos	23

2.6.1	Dimensionamiento del eje.....	23
2.6.2	Cojinetes deslizamiento	24
2.6.3	Juntas soldadura.....	24
2.7	Simulación de la estructura	25
CAPÍTULO 3.....		27
3.	Resultados.....	27
3.1	Resumen de cálculos y diseño	27
3.1.1	Cálculos desarrollado componentes mecánicos	27
3.1.2	Simulación de componentes.....	29
3.2	Construcción del equipo	30
3.2.1	Ensamble de la estructura principal	31
3.2.2	Ensamble de estructura órbita del reflector	31
3.3	Prueba de funcionamiento.....	32
3.4	Análisis de costos.....	34
CAPÍTULO 4.....		36
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
4.1	Conclusiones.....	36
4.2	Recomendaciones.....	37
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21 st century
NASA	National Aeronautics and Space Administration
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
CAE	Computer aided engineering
DAQ	Data acquisition
LED	Light-Emitting Diode
CCSSO	Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional

SIMBOLOGÍA

Kwh	Kilowatt hora
W	Watt
M2	metro cuadrado
KW	Kilo watt
α	Ángulo de Altura solar
Ψ	Ángulo acimut solar
θ_z	Ángulo cenital
°C	Grados centígrados
Lm	Lumine
Kg	Kilogramo
Gpa	Giga Pascal
M3	Metro cúbico
Mpa	Mega Pascal
A	Amperios
V	Voltios
Mv	milivoltios
σ	Esfuerzo
S_y	Esfuerzo de Fluencia
M	Momento máximo
S_{ut}	Esfuerzo ultimo de tensión
N	Newton
MM	Milímetro
NS	Factor de seguridad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipos de radiación solar	7
Figura 1.2 Azimut y Altura solar.....	8
Figura 2.1 Esquema de la metodología realizada para el equipo modular.....	12
Figura 2.2 Ángulos representados por los movimientos del panel y la fuente.....	14
Figura 2.3. Bosquejo del sistema de movimiento y sus grados de libertad	14
Figura 2.4 Esquema de conexión del módulo AC712 al Arduino.....	20
Figura 2.5 Esquema de conexión del módulo I2C con pantalla lcd al Arduino	21
Figura 2.6 Esquema de conexión del adaptador microSD al Arduino	21
Figura 2.7 Diseño de forma general del módulo.....	23
Figura 2.8 Carga sobre la estructura	26
Figura 3.1 Dimensiones principales del cojinete.....	28
Figura 3.2 Factor de seguridad del eje.	29
Figura 3.3 Factor de seguridad de la estructura	30
Figura 3.4 Partes del equipo modular detallada	31
Figura 3.5 Vista en explosión del marco y brazo con sus componentes.	32
Figura 3.6 Pruebas de funcionamiento del módulo.	33
Figura 3.7 Capacitaciones dadas en escuelas sobre energía solar fotovoltaica usando el módulo	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Fuentes de energía según su origen	5
Tabla 1.2 Radiación Solar Promedio	7
Tabla 1.3. Tipos de módulos fotovoltaicos	9
Tabla 2.1 Tabla de clasificación según criterios	15
Tabla 2.2 Propiedades y características de los diferentes tipos de reflectores	15
Tabla 2.3 Matriz de decisión de la fuente de luz artificial	16
Tabla 2.4 Propiedades y características de los diferentes tipos materiales	17
Tabla 2.5 Matriz de decisión del material a usar para la estructura del equipo modular solar para estructura y para el eje.	18
Tabla 3.1 Cálculo de las dimensiones del eje.....	27
Tabla 3.2 Dimensiones del cojinete de deslizamiento seleccionado	28
Tabla 3.3 Cálculo de las dimensiones de la soldadura.....	28
Tabla 3.4 Resumen de costos generales de equipos y construcción	35
Tabla 3.5 Costos de equipos similares	35

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	VISTA ISOMÉTRICA
PLANO 2	MEDIDAS DE ENSAMBLE
PLANO 3	DESPIECE DE COMPONENTES
PLANO 4	BOCÍN
PLANO 5	EJE
PLANO 6	BASE SOPORTE
PLANO 7	BASE PANEL
PLANO 8	BASTIDOR DERECHO
PLANO 9	BASTIDOR IZQUIERDO
PLANO 10	ESTRUCTURA TRANSVERSAL
PLANO 11	MARCO
PLANO 12	ESTRUCTURA PORTA REFLECTOR

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El uso e inclusión de las energías renovables en la sociedad desde sus inicios se han planteado como una alternativa que tiene como misión llegar a reemplazar las fuentes energéticas convencionales existentes. El consumo de combustibles fósiles para la generación eléctrica resulta perjudiciales a largo plazo para el ambiente por la liberación de gases de efecto invernadero a la atmosfera que conlleva al aumento de la temperatura y repentinos cambios climáticos.

La gran mayoría de los países desarrollados y en vía de desarrollo ha invertido en Investigación, desarrollo e innovación para buscar alternativas más eficientes y ecológicas en la obtención de energía con fines térmicos o eléctricos; uno de los sistemas más eficientes y empleados que menor impacto genera es la generación fotovoltaica, que mediante el aprovechamiento de la radiación entregada por el sol a lo largo del día por medio de un sistema fotovoltaico transforma y convierte la energía del sol en electricidad. (REN21, 2018)

Adicionalmente, la energía solar es aquella que genera el mayor número de empleo dentro de los sistemas renovables de energía. El empleo global en energía solar fotovoltaica se estimó en 3.4 millones en el 2017, representando un 9% más que en el 2016. (REN21, 2018)

Dentro de este contexto, es importante la formación de nuevos profesionales en el campo de energía renovables, derivado que en los últimos años se ha generado un crecimiento rápido de la generación de electricidad por fuentes de energía renovables a nivel mundial. Sin embargo, el uso de la energía solar avanza a paso muy lento en Ecuador, constituyendo hasta el 2016 solo un 0.36% de la oferta de energía eléctrica generada. (EL UNIVERSO, 2017) Debido a la falta de profesionales en el área de energía renovables y por

impuestos aplicado a la importación de equipos para generación fotovoltaicas, son factores que encarecen y desmotiva el uso de esta alternativa.

Dentro de este contexto, es fundamental que las instituciones de educación básica y superior incorporen dentro del proceso de enseñanza contenidos asociados a energías renovables ya sean de forma teórica o práctica. Sin embargo, el desarrollo de actividades experimentales se ve limitado por la falta de equipamiento a nivel de laboratorios. Dichos equipos para prácticas o simulación de sistemas de energía renovables son bastante elevados en precio, lo que dificulta el desarrollo de estas actividades experimentales en las Instituciones de educación superior y centros de investigación.

En referente a lo anterior expuesto, se plantea el diseño de un equipo para formación en sistemas fotovoltaicos que permita simular la geometría solar y posicionamiento de los módulos solares, considerando los ángulos de inclinación del sol que van de la mano con la zona geográfica de la instalación y que este me presente los datos necesarios para realizar una correcta selección de equipos, permitiendo orientar a los estudiantes sobre la importancia que tiene orientar correctamente los módulo solares para el máximo aprovechamiento del recurso solar e incentive la creación de nuevos emprendimientos que involucre proyectos de energía sostenibles y promueva la generación de empleo en el país.

1.2 Justificación del proyecto

Tal como se citó en el primer apartado y basándonos en el documento de Objetivos de Desarrollo Sostenible por sus siglas ODS, publicadas por la UNESCO en su objetivo 7 cita, “Para garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, se debe formar a los futuros estudiantes para establecer el aprendizaje sobre las distintas fuentes de energía, sean estas renovables y no renovables, las ventajas y desventajas de sus usos, impactos ambientales, salud, seguridad y eficiencia energética”. (UNESCO, 2017)

Desde esta perspectiva podemos decir, que la UNESCO busca que: “Los estudiantes elaboren proyectos que busquen defender la necesidad de la eficiencia energética, que comprendan los conceptos de energía asequible, limpia y sostenible, que puedan transferir y adoptar tecnologías y conocimientos creando una visión de producción, desarrollando competencias de sostenibilidad que se basen en actitudes. Creando así una visión de producto, suministro y uso confiables de energía sostenible con las competencias necesarias para resolver problemas de sostenibilidad y el desarrollo de conocimiento”. (UNESCO, 2017)

Para aprender sobre desarrollo sostenible es necesario formar criterios de sostenibilidad en todos los niveles y tipos de educación, basándose en actitudes, conocimientos y competencia, incluyendo la sostenibilidad energética.

Dentro del contexto de enseñanza de fuentes energía renovables, se encuentra la ejecución de actividades de enseñanza-aprendizaje tenemos el componente experimental que deben realizar los estudiantes en laboratorio, con el fin de reforzar el componente teórico impartido en el aula. Sin embargo, la falta o insuficiencia de equipos de formación experimental a nivel nacional es una dificultad importante en el proceso aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, El estudio tecnológico de las energías renovables es un punto crítico en los objetivos de desarrollo sostenible en el cual se basa el Plan toda una vida del gobierno. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017)

Con el fin de contribuir a esta meta, se plantea el diseño y construcción de un sistema de un módulo solar con emulador de la altitud que permita la adquisición de datos en un periodo determinado, simulando el sol con una fuente artificial lumínica y que permita variar la inclinación del brazo que sujeta la fuente para simular la posición del sol en diferentes horas del día variando el brazo en fases de 15 grados, este brazo irá acoplado a una estructura en forma de marco que se moverá independientemente a la inclinación del panel para simular la posición geografía del lugar de instalación del panel.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de módulo solar con emulador de altitud solar para prácticas de laboratorio en la carrera de Ingeniería mecánica.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar el sistema de movimiento en dos dimensiones para el seguidor solar.
2. Construir un prototipo del módulo solar para pruebas en laboratorio.
3. Realizar pruebas para la evaluación del funcionamiento del equipo y desarrollar una guía de manejo.

1.4 Marco teórico

Un punto importante para la formación profesional en el campo de las energías renovables es conocer que es energía y sus formas.

1.4.1 Energía y sus fuentes

Definida como la capacidad para obrar, transformar y poner en movimiento un sistema con la finalidad de producir un trabajo. La energía se produce en diferentes fuentes y se pueden clasificar en primarias y secundarias.

Las fuentes de energía primaria se denominan a los recursos naturales que se pueden usar sin que hayan sido sometidos a algún proceso de transformación y de este se puede subdividir en 2 tipos: Fuentes energéticas renovables y no renovables.

Las fuentes de energía secundarias son productos resultado de una transformación o elaboración de recursos primarios energéticos, con la única finalidad de ser usados en un centro de consumo.

Tabla 1.1 Fuentes de energía según su origen. (Sánchez Miño, 2003)

Origen	Fuentes	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Solar	Energía Solar Radiante, Eólica, Hidroeléctrica, Olas, Biomasa	Generación eléctrica, energía mecánica, transporte, sistemas termales	Renovable, energía directa y muy abundante	Impacto visual, Hidroeléctrica no disponible en todos lados, biomasa puede causar deforestación y contaminar
Combustibles fósiles	Petróleo, Gas, Carbón	Generación eléctrica, energía mecánica, transporte, sistemas termales	Fuente de energía concentrada con varios siglos de avances tecnológicos de desarrollo y tratamiento.	Productos contaminantes con reservas mundiales limitadas y problemas de índole políticos sobre su uso y explotación
Gravitacional	Energía Mareomotriz	Generación eléctrica, energía mecánica	Muy renovable	Sitios que son económicamente viables limitados, Pocos sitios aptos para su instalación
Calor en el interior de la tierra	Energía Geotérmica	Generación eléctrica, sistemas termales	Muy renovable	Impacto visual, pocos sitios disponibles.
Nuclear	Átomos (Uranio)	Generación eléctrica, transporte, electromedicina, radiología	Fuente de energía super concentrada	Productos altamente contaminantes y radioactivos, reservas finitas, problemas de índole políticos sobre su uso y explotación

1.4.1.1 Energía no renovable

Estas fuentes de energía provienen de reservas limitadas y su consumo acaban hasta agotar la reserva. En esta destaca las reservas fósiles: gas natural, carbón y petróleo. Formadas hace más de trescientos millones de años por la descomposición de microorganismos que fueron sepultados bajo capas de tierra y sedimentos más la acción de la presión y bacterias transformándose así en petróleo, y en un nivel aún más profundo formándose gas natural (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.4.1.2 Energía renovable

Proviene de fuentes que producen constantemente energía y se renueva por procesos naturales en períodos de tiempo cortos a escala humana. Es decir, su utilización es ilimitada. Además de poseer la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas. (Sánchez Miño, 2003)

El impacto medio ambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables. (Sánchez Miño, 2003)

1.4.2 Energía y Radiación Solar

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en “cuantos de energía” llamados “fotones”, que calienta e ilumina, interactuando con la atmósfera, los océanos y las plantas. El flujo de energía que llega al planeta desde el sol en forma de ondas electromagnéticas de frecuencias variadas se lo conoce como Radiación Solar.

La intensidad de la radiación solar que es recibida en la parte exterior de la atmosfera tiene un valor de 1.353 W/m^2 , variable durante el año en un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. Este valor recibe el nombre de *Constante Solar (G)*. (Veritas Formación, Méndez Muñoz, & Cuervo Garcia)

Estudios realizados determinan que la posición geográfica del Ecuador la consideran como una región con un alto potencial para la generación de electricidad, donde se estima que la radiación promedio recibida es de 3 a 4 KW/m^2 por día. (Delgado Orellana & Orellana Samaniego, 2015)

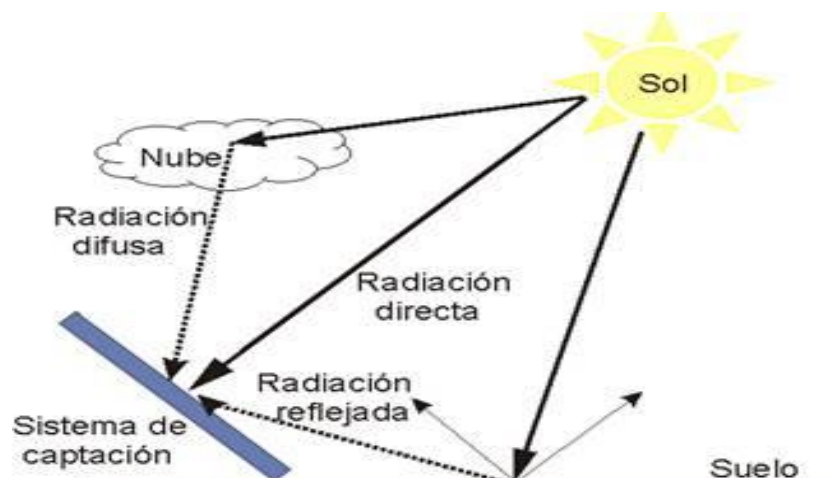
Los datos para algunas de las ciudades del Ecuador se muestran a continuación en la tabla 1.3. tomados directamente de la base de datos de

la NASA en donde se nos muestra la radiación solar promedio de los últimos 10 años.

Tabla 1.2 Radiación Solar Promedio [$kWh/ m^2 * dia$] (NASA, 2018)

Locación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cotopaxi	3.73	3.98	4.05	3.88	3.74	3.47	3.71	3.97	3.98	3.77	3.88	3.79
Cuenca-Loja	3.76	3.99	3.98	3.87	3.84	3.53	3.79	4.17	4.29	4.08	4.26	4.05
Esmeraldas	4.05	4.42	4.71	4.51	4.17	3.79	3.75	3.9	3.96	3.88	3.93	3.97
Guayaquil	4.34	4.58	4.66	4.55	4.37	3.85	3.96	4.3	4.53	4.37	4.62	4.53
Ibarra-Tulcán	3.73	4.01	4.17	3.95	3.75	3.56	3.85	4.01	3.95	3.79	3.81	3.73
Galápagos	6.25	6.56	6.78	6.49	6.03	5.56	4.92	5.19	5.28	5.49	5.46	6.01
Manabí	5.05	5.22	5.51	5.45	5.00	4.01	3.84	4.15	4.42	4.26	4.54	4.99
Napo	4.45	4.36	4.33	4.04	4.11	3.74	4.01	4.55	4.82	4.59	4.47	4.67
Quevedo	4.15	4.44	4.63	4.50	4.21	3.68	3.68	3.92	4.01	3.86	4.01	4.09
Quito	3.73	3.98	4.05	3.88	3.74	3.47	3.71	3.97	3.98	3.77	3.88	3.79
Riobamba	3.74	3.97	3.96	3.83	3.76	3.43	3.63	3.98	4.05	3.82	3.99	3.87
Santa Elena	5.25	5.43	5.62	5.51	5.13	4.32	4.25	4.59	4.97	4.88	5.13	5.28

En función de cómo inciden los rayos en la tierra se clasifican en tres componentes de radiación solar: Directa, difusa y reflejada.



**Figura 1.1 Tipos de radiación solar
(Veritas Formación, Méndez Muñoz, & Cuervo Garcia)**

Dependen fuertemente de las condiciones meteorológicas, la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal y la presencia de superficies reflectantes.

Un punto importante que considerar para la orientación del módulo solar es conocer las variables que comprenden la geometría solar.

1.4.3 Geometría Solar

El sol traza caminos diferentes según la estación del año, para predecir la trayectoria del sol se utiliza un sistema de coordenadas con dos ángulos:

- Altura Solar (α): es el ángulo formado por la posición aparente del sol, en el cielo con la horizontal del lugar.
- Ángulo Acimut Solar (Ψ): es el ángulo horizontal que se forma de la posición del sol y la dirección del sur.
- Ángulo cenital (θ_z): es el ángulo vertical que forma la línea Sol-Tierra con el lugar en cuestión, es el complemento de la altura solar (α).
- Cenit: punto vertical del observador en la superficie, siempre perpendicular al horizonte.
- Nadir: punto opuesto al Cenit.

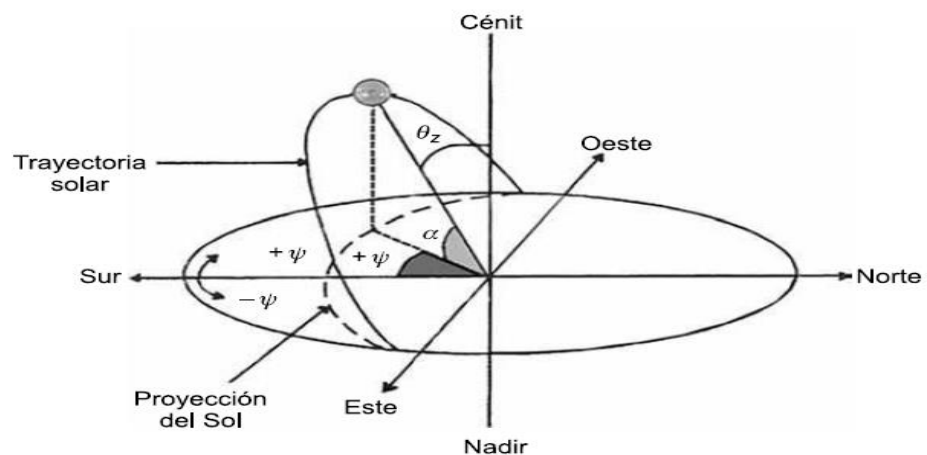


Figura 1.2 Azimut y Altura solar
(Veritas Formación, Méndez Muñoz, & Cuervo Garcia)

Valores de Azimut y altura solar se encuentran generalmente tabulados como coordenadas que se expresan en función de los días del año, parámetros que son necesarios para una óptima instalación o un sistema de seguimiento solar. (Viloria, 2010)

1.4.4 Energía Solar fotovoltaica

Es una fuente de energía eléctrica renovable empleada mediante el uso de paneles fotovoltaicos, fabricados con materiales semiconductores cristalinos e impurezas que, al incidir la radiación solar sobre ellas los fotones absorbidos liberan electrones y provocan una diferencia de potencial en un circuito. Se la considera como autogestionada dado que se puede aprovechar la energía en el mismo lugar que se produce y es compatible con cualquier otro tipo de generación eléctrica. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.4.4.1 Paneles o módulos solares

Son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad por medio del efecto fotovoltaico. Dependiendo del proceso de fabricación existen tres tipos de módulos solares: monocristalino, policristalino y de silicio amorfo.

Tabla 1.3. Tipos de módulos fotovoltaicos (Veritas Formación, Méndez Muñoz, & Cuervo García)

	Características
Monocristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Los átomos están perfectamente ordenados. • Se lo caracteriza por su color azulado oscuro y metálico. • Eficiencia entre 15-18 %.
Policristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura ordenada por regiones separadas • Color con distintos tonos de azules y grises metálicos • Eficiencia entre 12-14 %.
Silicio Amorfo	<ul style="list-style-type: none"> • No existe estructura cristalina ordenada. • El silicio se lo deposita en forma de láminas delgadas sobre un soporte transparente. • Presentan un color marrón y gris oscuro. • Eficiencia menor del 10%.

1.4.4.2 Módulo solar con emulador de altura

Estos equipos son capaces de reproducir la trayectoria solar a pequeña escala mediante el uso de una fuente artificial de luz que trabaja en conjunto con un panel solar acoplado a su base, los cuales nos permitirán simular la trayectoria del sol y así estimar valores de radiación solar obtenida en un punto específico del planeta en cualquier época del año a fin de garantizar una localización y funcionamiento adecuados. (Sánchez Miño, 2003)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para el diseño del módulo solar se considerará dos variables de posicionamiento importantes para su orientación: Angulo de acimut y altura solar. Se empleará un reflector luminoso como fuente de energía artificial que simulará la presencia del sol en el ambiente cerrado del laboratorio, generando la radiación necesaria que al hacerla incidir sobre un panel solar instalado en la estructura este en conjunto pueda generar valores estables de voltaje. Con la ayuda de un módulo de adquisición de datos registraremos estos valores de energía y los almacenaremos como variables, dentro de un plazo de tiempo establecido. El brazo donde se acopla el reflector deberá realizar un movimiento de 15° en el sentido de su altura solar simulando una hora por cada movimiento.

El dispositivo represado en la Figura 2.3 muestra un modular con una estructura de soporte para el panel y la fuente de luz con la finalidad de simular la trayectoria del sol en cualquier época del año. Esto se lo realizará mediante un brazo acoplado a un marco metálico que proyecte la luz hacia el panel. El sistema contara con 3 grados de libertad simulando los ángulos anteriormente mencionados.

Para la construcción se dispone de un panel fotovoltaico de 25W tipo policristalino, el cual representa una alternativa viable económicamente hablando por su bajo costo, dimensiones y peso reducidos, y por supuesto su estructura es la más usada y comercializada en los sistemas fotovoltaicos. Para la fabricación del soporte y el marco se utilizará tubos cuadrados y rectangulares de acero, lo cuales fueron puestos a disposición por ESPOL para realizar este proyecto.

El módulo solar contara con un sistema de adquisición de datos mediante una tarjeta Arduino para registrar datos de voltaje tomados del panel solar y cuyos valores van a poder ser reflejados en una interfaz digital, dichos datos servirán para interpretar las fluctuaciones de energía en función de la posición analizando el rendimiento y eficiencia de este.

Por otro lado, para fines prácticos este proyecto ha sido planteado mediante una metodología de diseño presentado en un esquema en la figura 2.1

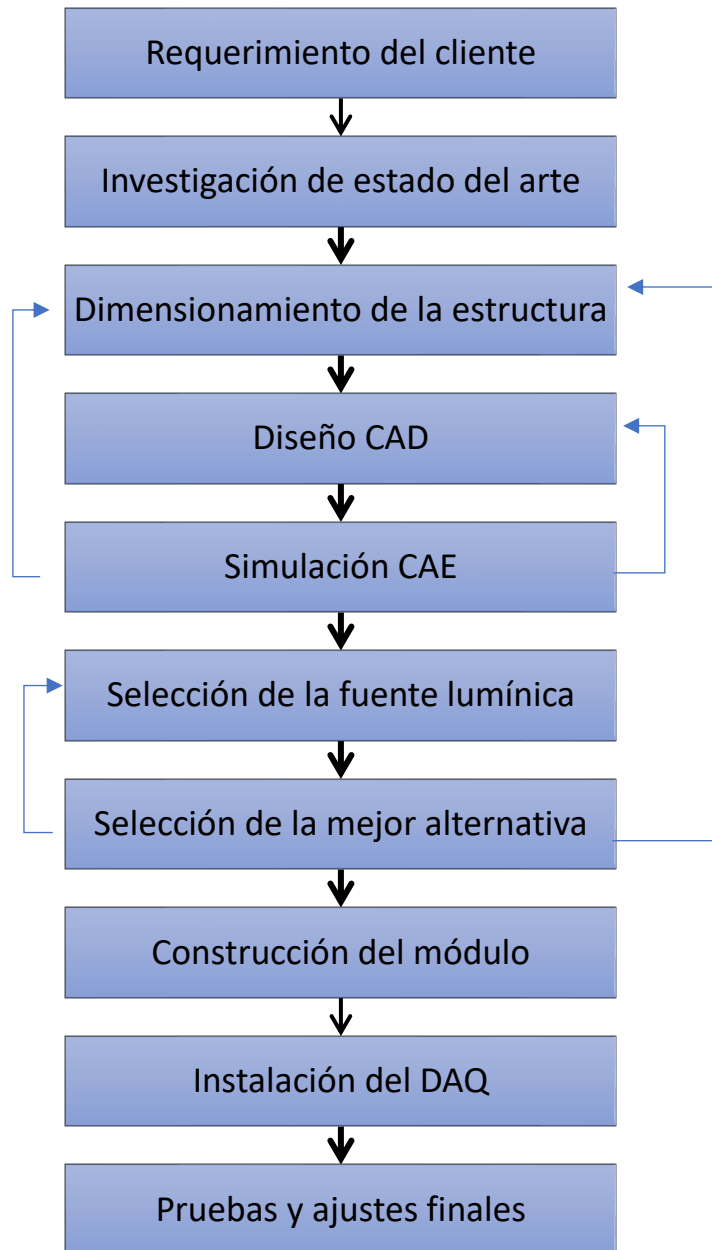


Figura 2.1 Esquema de la metodología realizada para el equipo modular. (Budynas & Nisbett, 2015) (Elaboración Propia)

2.1 Requerimientos del cliente

Este trabajo fue planteado como aporte al proyecto de servicio comunitario denominado "Laboratorio móvil de energías renovables" dirigido a estudiantes de nivel secundario. Además, será de importancia para realizar prácticas de laboratorio de la materia de energía solar dentro de la facultad FIMCP. Durante su diseño y construcción se nos proporcionó un espacio de trabajo, materiales y demás insumos para el desarrollo y construcción del equipo, las limitantes del diseño solo se traducen a un equipo funcional, lo más ligero posible, que los movimientos angulares puedan operar de manera correcta, de alta movilidad y fiabilidad. También hay que destacar que el equipo sea fácil de manipular, seguro y libre de mantenimientos complicados.

2.2 Descripción general del sistema

La posición de la fuente lumínica viene determinada principalmente por el ángulo de altura solar y de inclinación del panel fotovoltaico como se representa en la figura 2.2, siendo las variables que afectan en la incidencia de los rayos solares sobre el panel, esos ángulos serán regulados y ajustados en el prototipo por medio de un brazo metálico que sostiene la fuente lumínica y por un marco en el que este acoplado el panel. Todos los movimientos antes descritos vienen representados en la figura 2.3.

Para ello se realizará el diseño del seguidor en dos ejes y su posición se la ajustara de manera manual variando la inclinación por cada toma de datos, todo este conjunto va acoplado a dos soportes verticales que a su vez van sujetos a una base plana con un sistema de ruedas que permitan un fácil desplazamiento, seguridad y rigidez al momento de realizar las practicas.

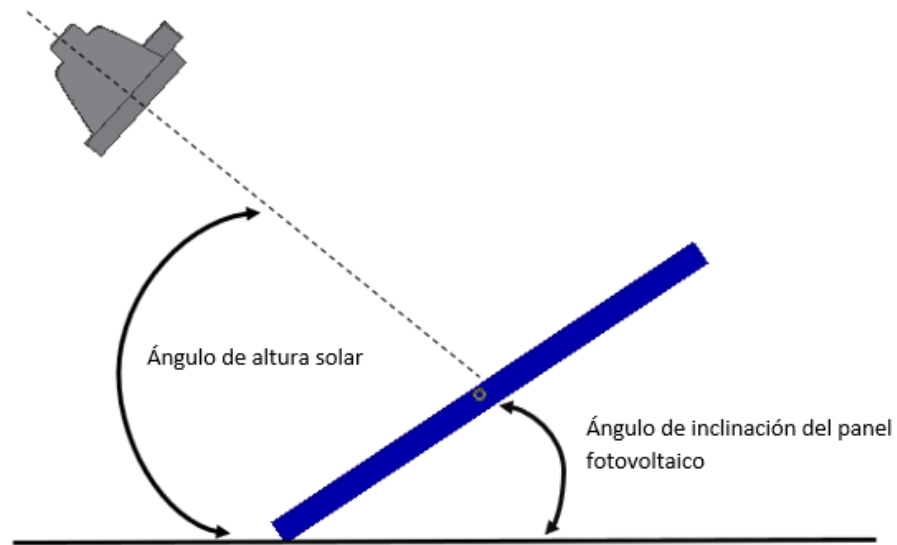


Figura 2.2 Ángulos representados por los movimientos del panel y la fuente.
(Elaboración propia)

Para la selección de la fuente artificial de luz, se presentaron varias alternativas y criterios basados en los tipos de tecnología de lámparas existentes. En relación con el sistema de adquisición de datos se analizó que sea lo más asequible y funcional posible.

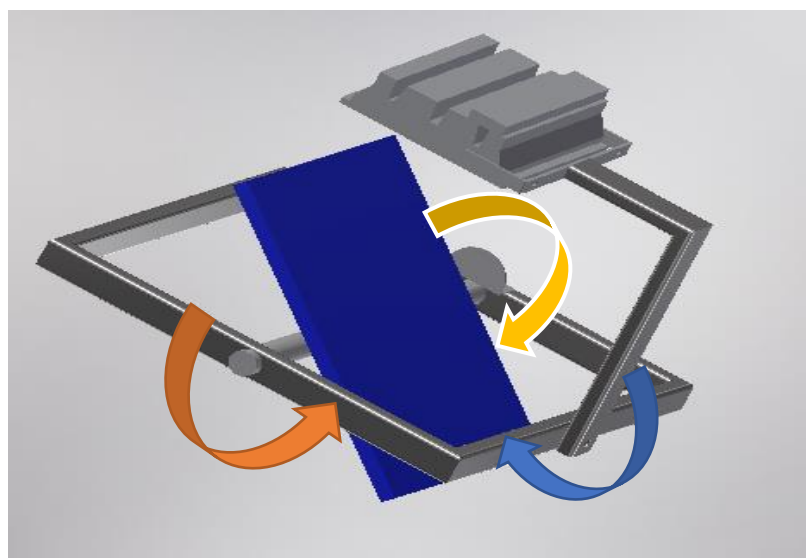


Figura 2.3. Bosquejo del sistema de movimiento y sus grados de libertad
(Elaboración Propia)

2.3 Matriz de decisión

En el proceso de estudio, obtención y selección utilizaremos matrices de decisión también conocidas como matriz de pagos o matriz de recompensas (Niebel & Freivalds, 2009), estas nos permiten evaluar y escoger la configuración más adecuada respetando los criterios de cada elemento, clasificándolos y ordenando según su porcentaje de importancia y multiplicándoles por valores ponderados en una escala del 1 al 3 siendo estos los siguientes:

Tabla 2.1 Tabla de clasificación según criterios

1 → Regular	2 → Bueno	3 → Excelente
-------------	-----------	---------------

Donde cada alternativa puede tener diferentes valores respecto a los beneficios deseados, el valor que se decida asignar reflejara que tan bien se adapta cada solución con el resultado deseado.

2.3.1 Descripción del reflector y su mejor alternativa

En el mercado encontramos varios tipos de reflectores las tecnologías más comúnmente usadas son detallados a continuación:

Tabla 2.2 Propiedades y características de los diferentes tipos de reflectores

Reflector	Led	Halógena	Fluorescente	Incandescente
Promedio de Vida [horas]	35000 - 50000	2000 - 4000	5000 - 20000	1000 - 2000
Temperatura de Lámpara [°C]	35 - 45	25	40 - 50	250
Radiación UV o IR	No	Si	Si	Si
Eficacia luminosa a 1600 Im. [lm/watts]	15 - 130	15 - 25	60 - 95	10 - 15
Consumo	Muy Bajo	Alto	Moderado	Muy alto
Costo Inicial	Alto	Bajo	Moderado	Bajo
Costo operativo	Bajo	Alto	Moderado	Muy Alto

Las características detalladas en la tabla 2.2 se usaron para comparar y calificar de acuerdo con la relevancia de cada una para aplicar la matriz de decisión, los cuales se presentan detallados a continuación:

- Costo inicial (25%): Se planteo este parámetro para evidenciar
- la búsqueda de la mejor alternativa económica en el mercado dado que elevados costos de la fuente lumínica pueden influenciar de manera importante en el costo final del proyecto.
- Promedio de vida (40%): El criterio considerado de mayor importancia, para un equipo de uso académico que será sometido a constantes evaluaciones por parte del alumnado y que bajo ningún concepto deba fallar en la práctica.
- Consumo (10%): Los rangos de consumos eléctrico son variados según la tecnología que se emplee, sin embargo, solo se considera por una cuestión medio ambiental el uso de una fuente más eficiente y eco amigable.
- Radiación UV o IR (25%): La emisión de radiación electromagnética que este fuera del espectro visible es muy importante y replica justamente lo que nuestro sol emite dentro de nuestra atmosfera y justamente nuestro panel solar también recepta y aprovecha este tipo de radiación.

Tabla 2.3 Matriz de decisión de la fuente de luz artificial

Criterio Alternativa	Costo inicial (20%)	Promedio de vida (35%)	Consumo (10%)	Radiación UV o IR (35%)	Total
Led	1	3	3	-	1.55
Halógena	3	2	2	3	2.20
Fluorescente	2	2	2	2	2
Incandescente	3	1	1	3	2.10

En la tabla 2.2 se visualiza que la mayor puntuación obtenida para la selección de la mejor fuente lumínica según nuestras necesidades viene dada por los focos con tecnología halógena. Que ofrecen una mejor

respuesta al espectro electromagnético no visible acercándose más lo que sería la proyección del sol sobre la superficie de un panel, un precio en el mercado relativamente bajo y un promedio de vida modesto para el desempeño dentro del laboratorio.

2.3.2 Selección de materiales

En la busca de materiales para la construcción de nuestro equipo modular investigamos los diferentes tipos de metales a usar que se encuentran más comúnmente en el mercado local, cuyas especificaciones propiedades mecánicas y físicas se presentan la tabla 2.3.

En la selección de los materiales a utilizar es necesario conocer ciertas propiedades mecánicas de interés y la disponibilidad de estos. Ver tabla 2.4.

Tabla 2.4 Propiedades y características de los diferentes tipos materiales

Material (Aceros)	ASTM A500	ASTM A513	AISI 304	AISI 420
Resistencia a la fluencia (MPa)	315	318	1280	1482
Resistencia Ultima a la tensión (MPa)	400	400	1750	1724
Coeficiente de Poisson (%)	0.29	0.30	0.40	0.28
Módulo de elasticidad (GPa)	200	200	200	200
Densidad (kg/m ³)	7850	7850	7690	7690

Las propiedades mostradas en la tabla 2.3 fueron usadas principalmente para comparar y calificar, según los criterios para la matriz de decisión, detallados a continuación en orden de importancia:

- Resistencia a la fluencia (35%): Criterio de mayor relevancia para que no existan deformaciones al momento de manipular el equipo, que este no falle bajo condiciones de fatiga.
- Resistencia a la corrosión (30%): A pesar de que el equipo será operado dentro de un laboratorio, puede existir que por el excesivo uso la pintura

o el recubrimiento se desgaste y se corroa el metal, afectando el funcionamiento del equipo y los movimientos de los ejes.

- Costo (20%): Factor a considerar para un obtener un precio final más competitivo en el ensamble y el producto final.
- Facilidad de obtención (15%): Se planteó este criterio debido a que es importante la disponibilidad del material al momento de la adquisición o si es que llegara a surgir un percance y se necesite remplazar alguna pieza.

Tabla 2.5 Matriz de decisión del material a usar para la estructura del equipo modular solar para estructura y para el eje.

Criterio	Resistencia a la fluencia (35%)	Resistencia a la corrosión (30%)	Precio (15%)	Facilidad de obtención (30%)	Total
ASTM A500	2	2	3	3	2.65
ASTM A513	2	2	2	3	2.50
AISI 304	3	3	1	2	2.70
AISI 420	3	3	1	1	2.40

A partir de la tabla 2.5 se determina que el acero ASTM A500 en la selección será el más recomendable para la construcción del modular solar para su estructura.

Para la fabricación del eje del rotatorio a un cilindro de acero AISI 304 directamente desde un fabricante local siendo esta la mejor opción a escoger por su fácil adquisición y precio asequible. Localmente este acero es uno de los más cotizados dentro de la categoría de los inoxidables con propiedades mecánicas muy buenas y una resistencia superficial superior a los aceros galvanizados que cuando son expuesto al uso excesivo se desgastan y su película protectora falla dando paso a que se corroa internamente.

2.4 Sistema de adquisición de datos

Para el desarrollo de nuestro proyecto, la tarjeta Arduino representa una opción económicamente viable de un sistema de adquisición de datos dado que es una herramienta más que útil para el levantamiento de información en cualquier lugar y condición transportando estos datos de una forma rápida y segura al lugar donde se van a almacenar para posteriormente ser procesados y analizados.

Conectando el mundo analógico con el digital, usando los respectivos sensores es capaz de recolectar información, procesarla en tiempo real y solo es limitada por su capacidad de procesamiento para comunicarse con el sistema de almacenamiento de datos, que puede ser por comunicación directa al computador o mediante un medio extraíble.

En Apéndice A se muestra el diseño detallado del sistema de control junto con el código creado para el microcontrolador y sus módulos. En la sección Apéndice C.2 se muestra con detalle el proceso de diseño y construcción de sistema de adquisición de datos.

2.4.1 Sensores de Arduino

2.4.1.1 Módulo ACS712-30A

Es un sensor de corriente económico y bastante fácil de instalar, trabaja internamente con un sensor de efecto que detecta los diferentes campos magnéticos que se producen por la inducción de la corriente mientras se moviliza en el circuito entregando a su salida, existen variantes de este sensor únicamente diferenciadas por los últimos dígitos de su serie, en nuestro caso es un 30A que corresponde a la máxima corriente permisible que puede leer el sensor, para nuestro caso ± 30 amperios. Tienen una bornera que permiten la conexión directa al Arduino; dos para alimentación y uno para la salida analógica. El módulo entrega una salida que proporcional a la corriente dentro de un rango de 0 a 5 voltios, por ejemplo, para una corriente de 0 amperios el sensor nos entregará un equivalente de 2.5 voltios y de ahí aumentará o decrecerá según varíe la corriente.

El rango de la corriente y su sensibilidad se pueden medir también según su serie, para la 30A tenemos una sensibilidad de 66mv/A, para esta relación tenemos la siguiente ecuación lineal. (Torrente Artero, 2013)

$$v = m I + 2.5 \quad (2.1)$$

Donde m responde un pendiente lineal equivalente a la sensibilidad, visto de otra manera tenemos.

$$I = \frac{v - 2.5}{\text{sensibilidad}} \quad (2.2)$$

Con esta ecuación podemos introducir las respectivas variables en el Arduino y proceder a una calibración para nuestro equipo.

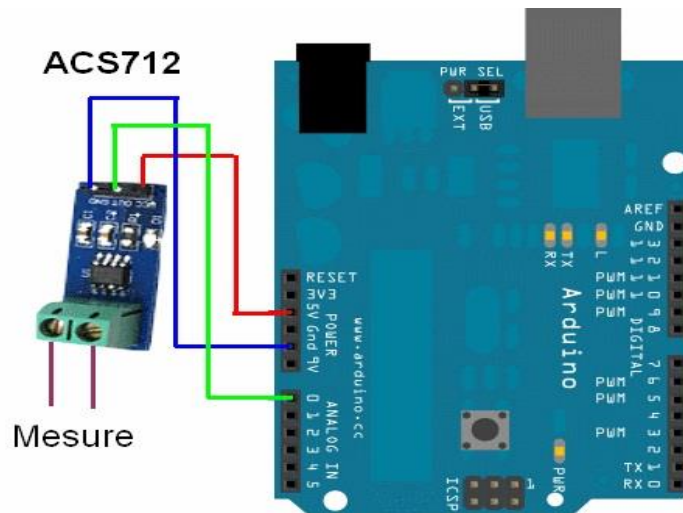


Figura 2.4 Esquema de conexión del módulo AC712 al Arduino

2.4.1.2 Módulo I2C y LCD 20x4

Usamos una pantalla de lcd de 20x4 cuadros para mostrar en tiempo real la información que vamos recolectando del panel con un temporizador

programable que nos indique los intervalos de tiempo de cada toma de datos, el propósito de diseñar esta pequeña interfaz es poder leer los datos mientras se van almacenando, corroborando que todos sean valores aceptables y que el equipo se encuentre trabajando en óptimas condiciones. El módulo I2C es un pequeño adaptador cuya única función es regular el contraste de la pantalla y reducir el número de pines utilizables a dos análogos, es de destacar que emplear directamente la pantalla al Arduino sin este adaptador ocuparía más de la mitad de las entradas disponibles haciendo imposible la conexión con los demás módulos y accesorios. (Monk, 2012)

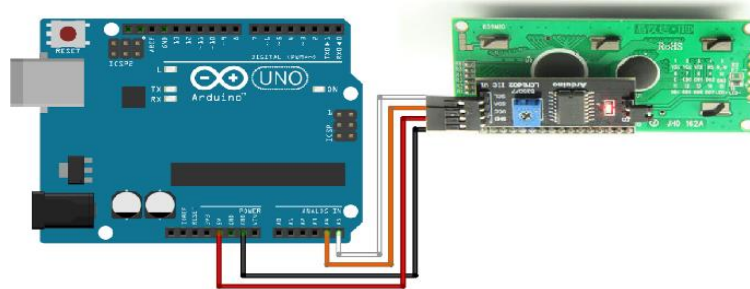


Figura 2.5 Esquema de conexión del módulo I2C con pantalla lcd al Arduino

2.4.1.3 Adaptador de tarjetas microSD

Se ha seleccionado este adaptador para nuestro diseño que nos proporciona una salida de información en un dispositivo de almacenamiento portátil de gran capacidad. Fácil de encontrar en el mercado, por ser comercial y de fácil lectura en un computador como un medio extraíble de información.

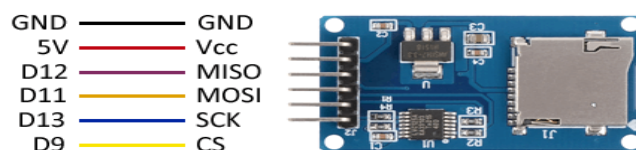


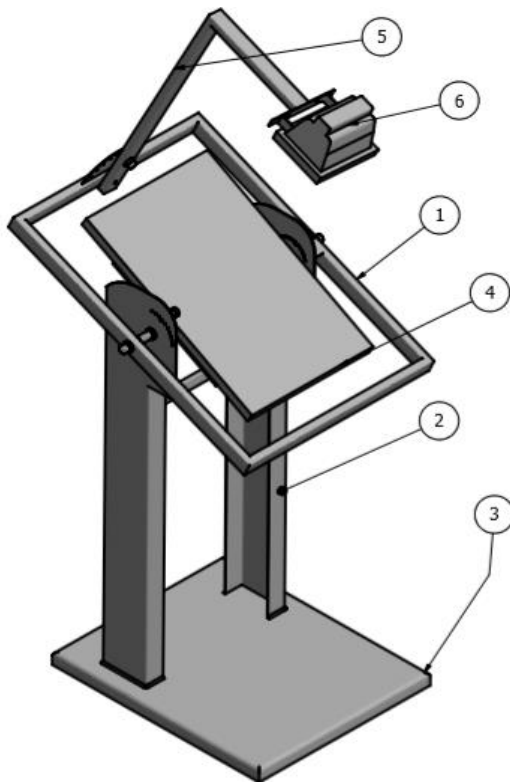
Figura 2.6 Esquema de conexión del adaptador microSD al Arduino

2.4.1.4 Pulsador y Buzzer Activo

Estos son elementos complementarios que se adaptaran con la finalidad de ser usados como sistema de alarma y pausa en cada toma de datos, especialmente al momento de variar el ángulo de posicionamiento del brazo con la fuente, la idea es que el operador pueda guiarse en pantalla del tiempo transcurrido/restante y en el momento que llegase a acabarse el tiempo de la actual toma de datos el sistema entre en un break donde este se reanude únicamente cuando el operador se encuentre listo para la siguiente toma de datos, es decir que el operador haya desplazado la fuente hasta la siguiente posición y presione el pulsador para continuar y empezar otra toma de datos. (Torrente Artero, 2013)

2.5 Diseño de la estructura del módulo solar

Para realizar el diseño de la estructura es necesario definir los elementos mecánicos usados para el sistema de movimiento del módulo en los cuales tenemos: Eje, cojinetes deslizamiento y juntas soldadas. Para la selección y dimensionamiento de estos componentes mecánicos se establece como una carga máxima el peso de una persona al apoyarse a la estructura combinado con el peso de la estructura en si, además de incluir los respectivos factores de seguridad se busca que la estructura sea lo suficientemente rígida y duradera para que pueda desempeñar sus funciones con toda seguridad, sea de fácil instalación, buena maniobrabilidad y libre de mantenimientos.



LISTA DE PIEZAS	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Estructura Orbita del reflector
2	Estructura de Soporte
3	Base del soporte
4	Panel Fotovoltaico
5	Brazo del Reflector
6	Reflector

Figura 2.7 Diseño de forma general del módulo
(Elaboración Propia)

Para lo cual, primero presentamos un diseño de forma general Figura 2.7 En el que evidencian todos los componentes y mecanismos del sistema, la identificación y ubicación de estos, se encuentra con mayor detalle en la sección de Apéndice E.

2.6 Dimensionamiento de componentes mecánicos

2.6.1 Dimensionamiento del eje

Para el dimensionamiento del eje se usará la teoría de falla estática para materiales dúctiles, donde el eje estará sometido a un esfuerzo de flexión provocado por la una fuerza externa. (Norton., 2009) A continuación, se muestra la ecuación para el cálculo del diámetro del eje sometido a carga estática:

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} = S_y \quad (2.3)$$

Donde:

M : Momento máximo (En base al diagrama de momentos)

d : Diámetro del eje

S_y : Esfuerzo de fluencia

2.6.2 Cojinetes deslizamiento

Debido a que este no es un sistema crítico que involucre altas revoluciones y cargas axial y radial se usarán cojinetes de deslizamiento, el cual serán maquinados en base al material con el que va a operar y diámetro del eje.

2.6.3 Juntas soldadura

La estructura de soporte estará conformada por perfiles en 'U', tubos cuadros y rectangulares, fabricado de acero estructural ASTM A500, todos estos elementos serán unido mediante soldadura E6011.

2.6.3.1 Dimensionamiento de la soldadura

Para determinar el tamaño de la soldadura para soportar una carga estática se usará el método de Blodgett, el cual consiste en tratar a la soldadura como una línea. (Norton., 2009). A continuación, se muestran las ecuaciones para el cálculo de las dimensiones de la soldadura.

$$\tau_{permisible} = 0.3S_{ut} = \frac{F_r}{t} \quad (2.4)$$

Donde:

$\tau_{permisible}$: esfuerzos cortantes permisible en una soldadura.

S_{ut} : Resistencia última de tensión de la soldadura.

F_r : Fuerza resultante (carga máxima en la soldadura)

t : dimensión de la garganta de la soldadura

Por el método de Blodgett se tiene las ecuaciones:

$$f_s = \frac{F}{A_w} \quad (2.5)$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} \quad (2.6)$$

Donde:

f_s : carga cortante por longitud t de la garganta

f_b : carga flexión por longitud t de la garganta

F : Fuerza aplicada al bastidor por la persona

M : Momento generado por la carga

A_w : factor de longitud

S_w : factor módulo de sección

Las ecuaciones para calcular los factores A_w y S_w dependen de la configuración del ensamblaje soldado, la figura que en donde se encuentran las configuraciones y respectivas ecuaciones se encuentra en Apéndice B.

2.7 Simulación de la estructura

Se hace necesario realizar la simulación de los componentes mecánicos y de la estructura para predecir su comportamiento ante una fuerza externa. Para ello, se utiliza el programa Autodesk Inventor (versión estudiantil).

Los parámetros por considerar en la simulación es la fuerza ejercida por una persona sobre la estructura de 114N (CCSSO, 2006), por el cual se considerará un análisis estático debido a que durante su funcionamiento no se presenta las condiciones para asumir que exista fatiga sobre la estructura y componentes. Los apoyos de la base se considerarán fijos para realizar la simulación, debido a que cuenta con ruedas en la base para su traslado.

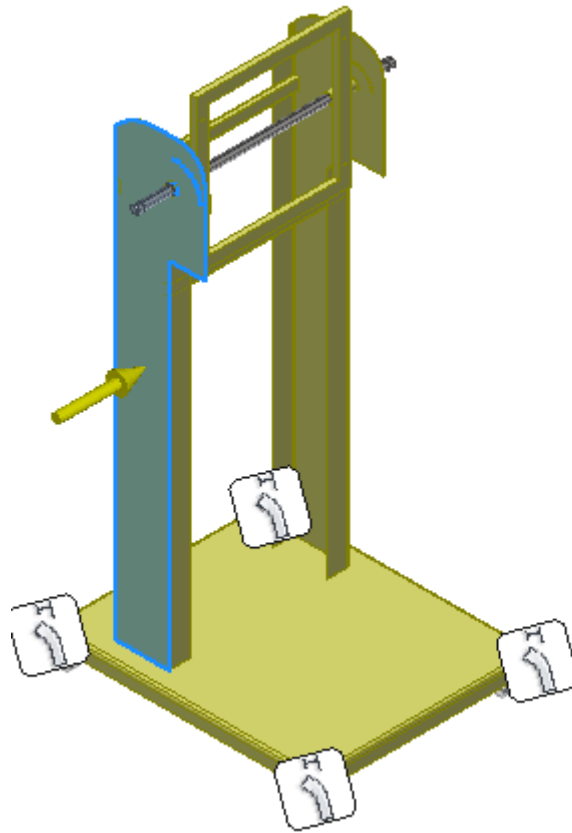


Figura 2.8 Carga sobre la estructura
(Elaboración Propia)

En la figura 2.8 se observa la fuerza aplicada en una de las caras del bastidor donde se puede apoyar una persona y donde se puede producir la máxima flexión.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de las variables y consideraciones que se plantearon en el capítulo dos, obteniendo el correcto dimensionamiento del equipo y sus componentes, parte fundamental que nos permitió una correcta construcción y ensamble de este.

Además, se presentan valores tabulados y graficas obtenidas mediante nuestro sistema de adquisición de datos, cálculos representativos y pruebas realizadas para la calibración del equipo y el circuito. El procedimiento completo de los cálculos se presenta en la sección de apéndice B.

3.1 Resumen de cálculos y diseño

En la figura 2.6, se muestra el sistema obtenido a partir del diseño de forma. Los elementos mecánicos del sistema son: eje, cojinete de deslizamiento y junta soldadas. A continuación, mostramos los resultados obtenidos en relación con las cargas de trabajo, incluyendo los resultados de simulaciones para la estimación de los factores de seguridad utilizando el programa Inventor Student

3.1.1 Cálculos desarrollado componentes mecánicos

Eje principal

Para el análisis de fuerzas se empleó el criterio de carga estática sobre el eje. En la tabla 3.1 se observa las dimensiones del diámetro obtenida a partir de los cálculos.

Tabla 3.1 Cálculo de las dimensiones del eje

Parámetros	Valores
Diámetro	19 [mm]
Longitud	580 [mm]
Material	Acero inoxidable AISI 304

Cojinetes de deslizamiento

A continuación, en la tabla 3.2 se muestra las dimensiones del cojinete de deslizamiento seleccionado a partir del diámetro del eje.

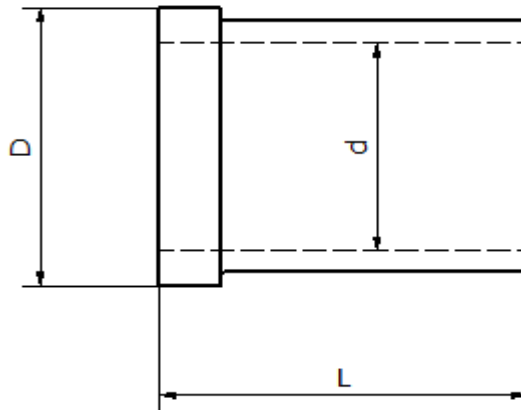


Figura 3.1 Dimensiones principales del cojinete (Elaboración Propia).

Los cojinetes fueron seleccionados y maquinados en base a el diámetro del eje adquirido, no requiere de un análisis de diseño debido a que no es un sistema sometido a altas revoluciones y carga.

Tabla 3.2 Dimensiones del cojinete de deslizamiento seleccionado

Material	Diámetro interior (d)	Diámetro exterior (D)	Longitud [L]
Acero	19 [mm]	25.4 [mm]	25.4 [mm]

Soldadura en la base de la estructura

En la tabla 3.3 se muestra el espesor del cordón de soldadura en la unión de la base y los bastidores.

Tabla 3.3 Cálculo de las dimensiones de la soldadura

Parámetros	Dimensiones
Tamaño mínimo de la soldadura	3.41 [mm]
Longitud del cordón	125 [mm]
Material	Electrodo E6011

3.1.2 Simulación de componentes

EL cálculo de los factores de seguridad para el eje y la estructura considerando una carga estática se realizaron en el software CAD de Autodesk Inventor. Las simulaciones de los componentes mecánicos consideran como carga el peso muerto de una persona que se apoya sobre el eje y la estructura, en base a esa carga se obtiene los factores de seguridad para verificar si puede fallar algún componente de la estructura por carga estática.

Eje principal

La simulación del eje considera la carga en el centro del eje de 114 N, el cual, está apoyado en la estructura. Por medio de la herramienta de análisis estático del software Inventor se obtiene los valores de factores de seguridad donde los valores mínimos se encuentran en el canal donde se ubican las anillas de retención cuyo valor es de 1,02 (como se observa en la figura 3.2), con estos resultados concluimos que el eje no fallará por carga estática.

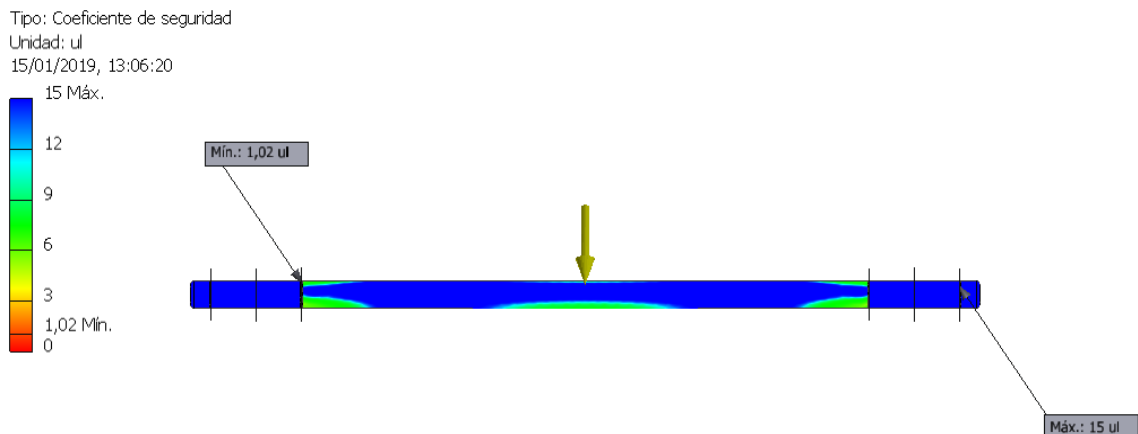


Figura 3.2 Factor de seguridad del eje.
(Elaboración Propia)

Estructura principal

Para la estructura se consideró una carga aplicada en la cara lateral del bastidor izquierdo de 114 N, se obtuvieron los valores de factor de seguridad cuyo valor

mínimo registrado son en los perfiles transversales de la estructura de 1.12 (como se puede observar en la figura 3.3), con esta simulación podemos concluir que la estructura no fallara por carga estática.

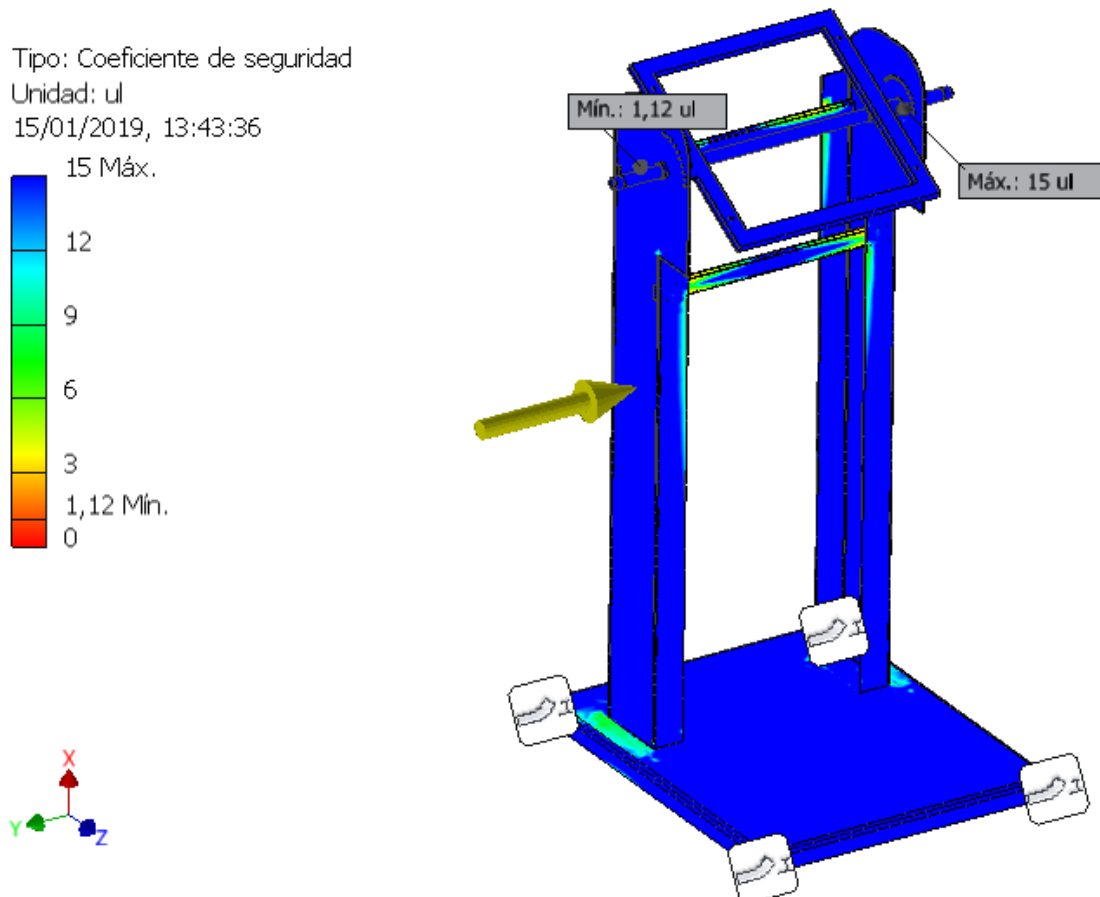


Figura 3.3 Factor de seguridad de la estructura
(Elaboración Propia)

3.2 Construcción del equipo

En este apartado se detallar el ensamble de los elementos estructurales, los cuales se dividirá en dos secciones: Estructura principal y la estructura donde pivota el reflector. Para más detalles, en el apéndice C se encuentran las fotos del proceso de construcción y ensamblaje del equipo, así como del diseño y construcción del sistema de adquisición de datos.

3.2.1 Ensamble de la estructura principal

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ESTRUCTURA PORTA REFLECTOR	TUBO RECTANGULAR 1 1/2 X 3/4 X 1.5
2	6	BOCÍN	ASTM A36 - D=1", d=3/4"
3	1	EJE	AISI 304 (INOXIDABLE) D=3/4"
4	1	BASTIDOR DERECHO	PERFIL EN U 125X50X2
5	1	BASTIDOR IZQUIERDO	PERFIL EN U 125X50X2
6	1	BASE TIPO BANDEJA	ASTM A36- 3MM
7	1	BASE DEL PANEL	TUBO RECTANGULAR 1X1/2"
8	1	PANEL FOTOVOLTAICO	25W
9	1	ESTRUCTURA PORTA REFLECTOR	TUBO RECTANGULAR 1 1/2X 3/4 X 1.5
10	1	REFLECTOR	500W
11	4	ANILLO DE RETENCIÓN EXTERNAS	3/4"
12	3	PASADOR ELÁSTICO	M10X1.0MM
13	2	TRANSVERSALES	TUBO RECTANGULAR 1X1/2"
14	4	RUEDAS	4"

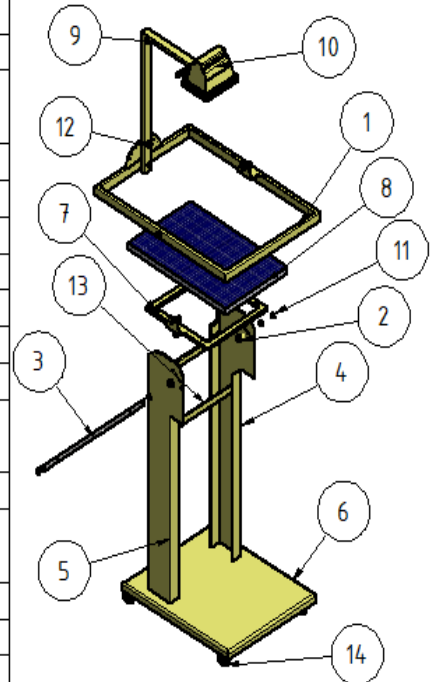


Figura 3.4 Partes del equipo modular detallada
(Elaboración Propia)

La base principal donde se encuentra apoyada la estructura se unen por medio de soldadura a los bastidores, estos bastidores son donde se apoya el eje por medio de cojinetes de deslizamiento (ver figura 3.4).

Sobre el eje va a estar apoyado el marco donde se realizará el movimiento de órbita del reflector en su respectivo cojinete para que puede girar independientemente.

El Panel fotovoltaico estará empernado sobre su respectiva base y va unida por soldadura a dos cojinetes para que su giro sea independiente al del reflector. Con el fin de evitar deslizamientos axiales sobre el eje se usaron cuatro anillos de retención externos para fijar la estructura del marco que porta el reflector y el panel fotovoltaico

3.2.2 Ensamble de estructura órbita del reflector

La estructura de soporte del reflector y el marco se realizó con tubo rectangular (ver figura 3.5), estos elementos se unen por medio de pernos,

arandela, tuerca y contratuerca. El reflector esta unido al soporte por medio de pernos, arandelas de presión y tuerca.

Con el objetivo de asegurar las diferentes posiciones del marco y el reflector en distintos ángulos de inclinación, acorde a la geometría solar; se usaron pasadores de bloqueo retráctiles, los cuales se aseguran a la estructura con pernos. Para mayor detalle ver el apéndice C.

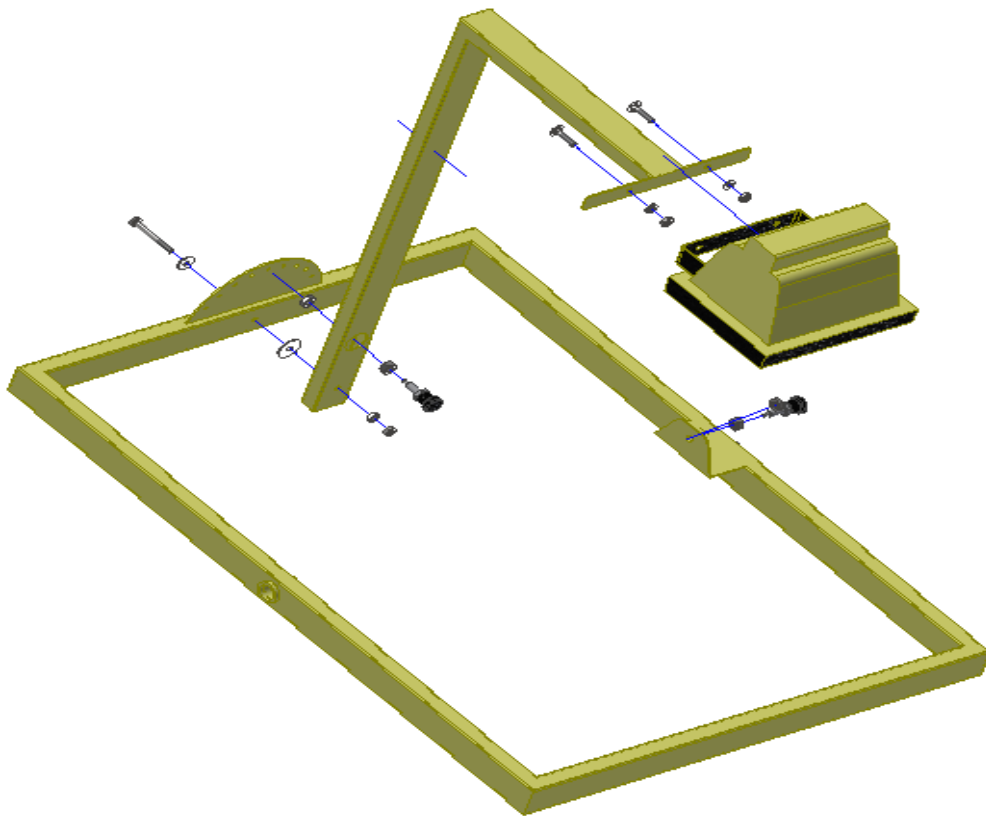


Figura 3.5 Vista en explosión del marco y brazo con sus componentes.
(Elaboración Propia)

3.3 Prueba de funcionamiento

Se realizó las conexiones del equipo con el sistema de adquisición de datos y la carga. Posterior a eso se realizó una prueba del microcontrolador y se lo calibró según la carga instalada. (Ver apéndice C-3.).

Esta calibración consiste en adaptar los valores registrados por la carga para que el microcontrolador pueda interpretar los datos dentro de sus rangos permisibles de lectura, esto con la finalidad de que no sufra alguna descompostura el

microcontrolador o demás módulos del sistema. Esta calibración se realiza una sola vez y solo con la ayuda de un multímetro. (Ver apéndice C-2.)

Luego de la calibración del sistema de adquisición de datos se realizó dos pruebas donde se tomaron valores de voltaje en circuito abierto. La primera prueba consiste en ubicar el panel y el marco del reflector a un mismo ángulo de inclinación y se variaban la posición angular del brazo que porta el reflector para simular la trayectoria durante el día del sol.

La segunda prueba, el marco del reflector y el panel no tienen el mismo ángulo de inclinación de tal manera que la luz emitida por el reflector no incida perpendicularmente al panel. En apéndice C se encuentra las fotos con la prueba del equipo.

En la figura 3.6 se obtiene una gráfica con los resultados de voltaje obtenido para cada caso de las pruebas

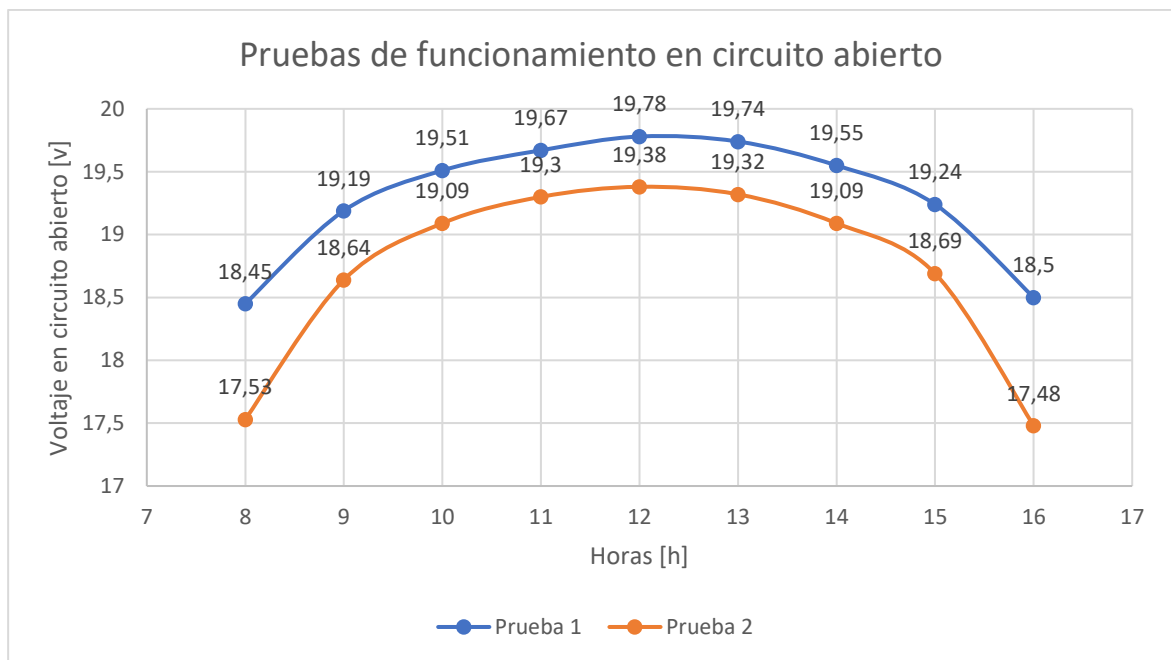


Figura 3.6 Pruebas de funcionamiento del módulo.
(Elaboración Propia)

De los datos obtenidos en la figura 3.6 se puede apreciar que los voltajes obtenidos en la prueba 2 son menores, esto se debe a que la luz no incide perpendicularmente a la superficie del panel con respecto a la prueba 1. Si bien

las variaciones son mínimas, cabe recalcar que esto es un módulo didáctico para que los estudiantes entiendan el efecto que tiene el no colocar el módulo de manera correcta en el lugar de instalación.



Figura 3.7 Capacitaciones dadas en escuelas sobre energía solar fotovoltaica usando el módulo

3.4 Análisis de costos

En esta sección se expondrán los costos generales involucrados en la construcción y funcionamiento del equipo. Además, de los costos de equipos similares que se ofrecen en el exterior.

La mayoría de los materiales involucrados en el proceso de construcción son de adquisición inmediata en los principales distribuidores del país, sin embargo, ciertos instrumentos fueron necesario importar para cumplir con las funciones requeridas. En la tabla 3.4 se detalla un resumen de los costos por categoría, la información detallada de materiales usados, componentes y cantidad se encuentran en el apéndice F.

En la tabla 3.5 se detalla el costo de equipos similares que simulan el recurso solar.

Tabla 3.4 Resumen de costos generales de equipos y construcción

DETALLE	COSTO
Materiales	\$60,75
Componentes	\$72,00
Mecanizado	\$77,00
Mano de obra	\$150,00
Equipos electrónicos e instrumentos	\$63,10
Panel Fotovoltaico	\$80,00
TOTAL	\$502,85

Tabla 3.5 Costos de equipos similares

DETALLE	COSTO
Entrenador Solar Solartec-70	\$2539,42
Instalación Energía fotovoltaica	\$2440,83

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, basados en la información obtenida del capítulo anterior. También presentamos una serie de observaciones para posibles trabajos futuros.

4.1 Conclusiones

- Se diseñó un modular solar para realizar prácticas de laboratorio para estudiantes con nivel de educación básica y bachillerato en el que se pretende desarrollar destrezas en la toma de datos y análisis, además de adquirir conocimientos referentes a la energía solar fotovoltaica.
- Para la construcción del equipo contamos con materiales que se encuentran de manera local y son bastante accesibles, a excepción de los pasadores de bloqueo retráctiles que fueron los únicos elementos que fueron importados.
- Todos los movimientos que se pueden ejercer sobre el equipo son manuales y se aseguran de manera inmediata mediante los pasadores, se cuenta con tres grados de libertad. También hemos dispuesto además de los goniómetros, varios vinilos adhesivos que muestran de una manera más didáctica los diferentes ángulos de inclinación y las horas del día en el caso de brazo del reflector.
- Los valores obtenidos y registrados por el sistema de adquisición de datos cuentan con cierto margen de error o ruido al momento de realizar la práctica para ello hemos dispuesto en la parte interna del circuito un potenciómetro que se debe calibrar una sola vez por cada panel que se use, ayudándonos de un multímetro ajustamos el giro del potenciómetro hasta que los valores coincidan totalmente tanto en la interfaz del circuito como en el multímetro. Estas pruebas se deben realizar con la carga conectada y con circuito abierto.
- Otro tipo de calibración en este caso para el módulo de corriente ACS712 se lo realiza de igual manera una sola vez y solo alterando el código cargado en el microcontrolador. Normalmente el ruido se muestra como un valor decimal de corriente que está variando dentro de un pequeño rango, con la carga desconectada y la fuente apagada obtenemos este valor y lo restamos dentro de la ecuación 2.2. Como se muestra en apéndice A.2.

- El sistema de adquisición de datos permite almacenar la información directamente en una microSD para posteriormente ser analizada en el computador en donde el estudiante deberá con estos valores generar las gráficas en su programa de preferencia.
- Se desarrollo un manual de instrucción para el operador del equipo en el que planteamos las debidas normas de seguridad, instrucciones de instalación, operación, cuidados y mantenimientos que necesita el equipo.
- El sistema de adquisición de datos se puede operar mediante una fuente de alimentación o de una manera más portátil con una batería de 9V.
- El costo total para la construcción del prototipo fue de USD502, equipos similares que se ofrecen en el exterior los precio son mayores a USD2000 lo que representa un ahorro de USD1500.

4.2 Recomendaciones

- El equipo fue diseñado para operar bajo condiciones de laboratorio en las que puede desempeñar sus actividades con normalidad, sin embargo, se debe tener en consideración que el uso excesivo del reflector incandescente puede generar sobre calentamiento sobre su carcasa y el riesgo de quemadura por contacto se ve incrementado.
- Se recomienda leer detenidamente las secciones de apéndice E.2 y E.3 antes de operar el equipo.
- Se recomienda que al momento de manipular el equipo modular el estudiante no se arrime o apoye a la estructura.
- Se recomienda comprobar la integridad de los cables tanto del panel como de la carga antes de encender el sistema de adquisición de datos evitando así posible corto circuitos o errores en la lectura.
- Se recomienda no usar regletas o extensiones de corriente para alimentar de energía al reflector, ya que esta demanda una corriente muy alta y puede elevar excesivamente la temperatura del cable.
- Se recomienda que cualquier modificación que se desee realizar al sistema el lector se sirva a revisar la sección de apéndice E en el que se detallan los planos de fabricación.

- Se recomienda realizar una revisión de materiales a usar en la estructura del equipo con la finalidad de para abaratar costos de producción y reducir el peso.
- Se recomienda indagar más en el diseño buscando implementar una mayor facilidad de transporte y portabilidad.
- Se recomienda para futuras revisiones que para los ejes de desplazamiento se implementen motores de pasos y un sistema de control adicional que permita el movimiento angular de una manera más precisa y exacta.
- Se recomienda que para futuras revisiones el sistema de adquisición de datos implemente mediante un módulo u otra tarjeta Arduino la capacidad de compartir información mediante una red Wifi con la finalidad de remplazar el intercambio de datos por MicroSD y programar el Arduino para que los datos recolectados se envíen ya sea por red local a una computadora o a una base de datos un servidor en la nube se puede acceder a esta de manera remota.

BIBLIOGRAFÍA

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN*. New York: McGraw-Hill Education. Obtenido de McGraw-Hill Education.
- Carta González, J., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. (2009). *Centrales de energía renovables*. Madrid, España: Pearson.
- CCSSO. (27 de 11 de 2006). *Recurso Nacional Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional*. Obtenido de <http://www.ccsso.ca/oshanswers/ergonomics/push1.html>
- Delgado Orellana , G. J., & Orellana Samaniego, M. L. (Febrero de 2015). *Estimación de la Radiación Solar Cantón Cuenca Mediante la Aplicación del Modelo Bristow y CampBell*. Cuenca, Azuay, Ecuador. Recuperado el 25 de 10 de 2018, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>
- EL UNIVERSO. (9 de junio de 2017). La energía solar se abre terreno en Ecuador. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/10/nota/6222868/energia-solar-se-abre-terreno-ecuador>
- Monk, S. (2012). *30 Proyectos con Arduino*. Madrid-España: Editorial Estribor.
- NASA. (2018). *Power Data Access Viewer*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño de trabajo*.
- Norton., R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria: Un enfoque integrado*. México: McGraw-Hill.
- REN21. (2018). *RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT*.
- Sánchez Miño, S. (2003). *Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones*. Quito: Fundación Natura.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, S. (2017). *Plan Nacional de desarrollo 2017-2021*. Quito.
- Torrente Artero, Ó. (2013). *ARDUINO Curso práctico de formación*. Mexico: Alfaomega.

UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals - Learning Objectives.
Paris, Francia.

Veritas Formación, B., Méndez Muñoz, J. M., & Cuervo García, R. (s.f.). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España.

Viloria, J. R. (2010). *Instalaciones Solares fotovoltaicas*. Madrid, España.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Diseño detallado del control

En la sección dos de este documento se detalla la información del microcontrolador y de sus sensores.

A.1 Adecuaciones

Nuestro microcontrolador debe receptor y emitir señales por cada sensor que se ha decido incluir, presentando y almacenando información en tiempo real para su posterior procesamiento en el computador, dado que es una conexión directa del equipo al circuito se recomienda realizar la conexión lo más cerca posible y que posea una adecuada protección.

Se decide incorporar al equipo una estructura tipo cajetín diseñada a la medida e impresa en 3D la salvaguardar todos los componentes electrónicos, permitiendo realizar las debidas conexiones de entrada con el equipo y salida de la carga para la obtención de la corriente consumida. La configuración se puede apreciar en la figura A1.

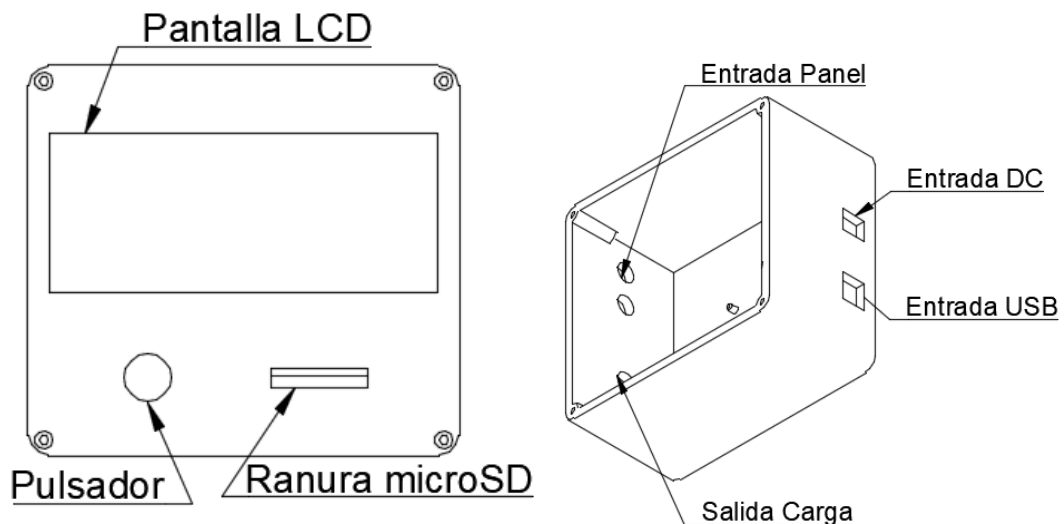


Figura A1. Diseño del cajetín para los componentes electrónicos

Teniendo presente una debida optimización del espacio, para la disposición de los sensores en la parte interna del cajetín se procedió a diseñar y elaborar un circuito impreso que se colocara sobre el microcontrolador Arduino con la finalidad de obtener un sistema embebido, algo mucho más ordenado y simplificado a la vista. El diseño de este hardware se desarrolló en el programa Proteus 8.7 y se presenta su esquema en la figura A2.

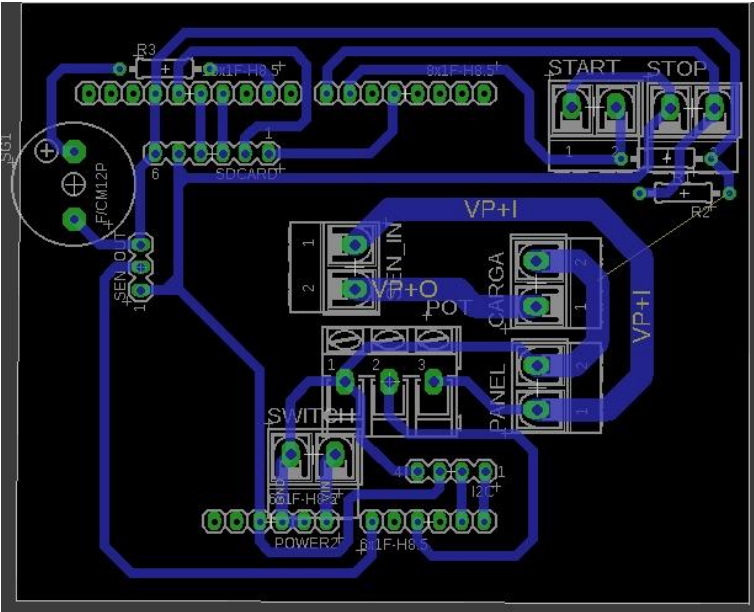


Figura A2. Diagrama del circuito obtenido mediante el diseño en Proteus 8.7

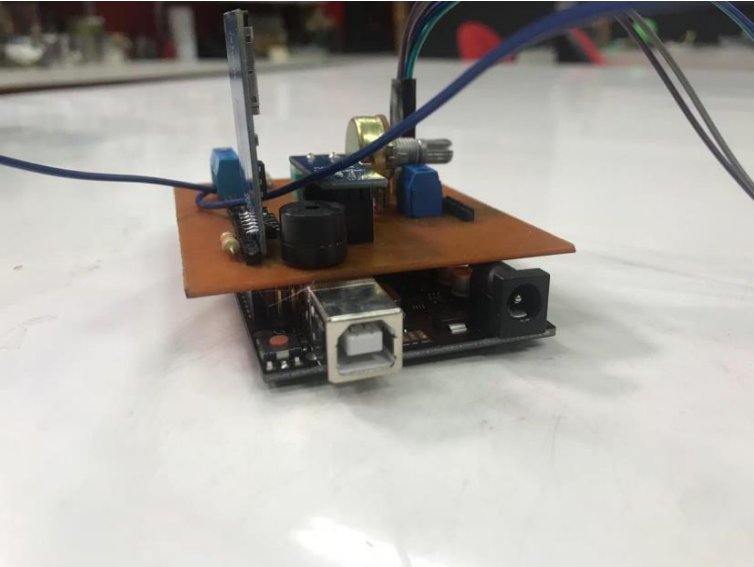


Figura A3. Circuito integrado al microcontrolador Arduino y sus módulos

A.2 Software

La programación del microcontrolador se basa en un código que no requiere de ninguna variable de entrada para empezar a operar. Simplemente se ajusta el equipo en las posiciones deseadas y basta con alimentar el sistema de control para que este comience su toma de datos.

La toma de datos se basa en un bucle en el que en un tiempo y posición del sistema determinado se almacenarán datos de voltaje y corriente, una vez transcurrido este tiempo el sistema nos proporcionara promedios de nuestras dos variables y eso serán los valores puntuales con el que trabajemos.

Al final trabajaremos con el promedio de todas las tomas de datos y generaremos una gráfica Voltaje vs Corriente en la que nuestra pendiente será representada por la potencia obtenida mediante el panel.

APÉNDICE B

Desarrollo de Cálculos

B.1 Dimensionamiento del eje

Considerando las propiedades del material del eje $S_y=1103 \text{ Mpa}$ (Norton., 2009), se calcula el diámetro del eje considerando una carga estática con la ecuación 2.4:

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} = S_y$$

El momento máximo se lo obtiene de la gráfica de momento flector del eje figura B1

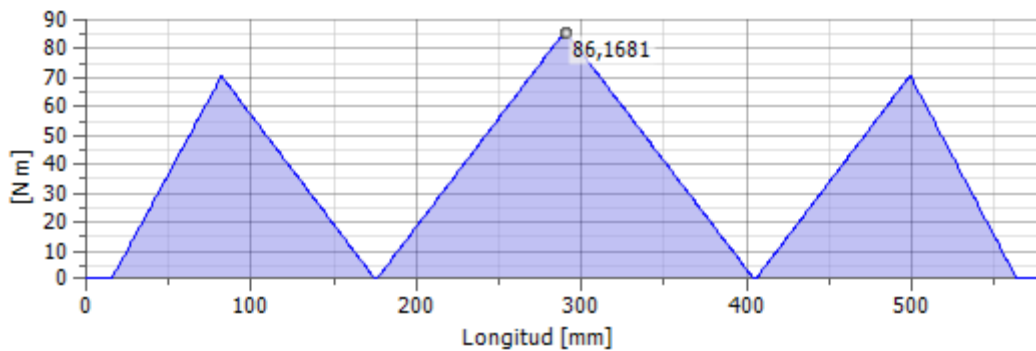


Figura B.1 Diagrama de momento flector vs longitud del Eje

El valor de momento flector máximo es de 86.17 N-m Obtenido en el software Autodesk Inventor.

A continuación, se calcula el valor del diámetro d despejando de la ecuación y reemplazando:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M}{\pi S_y}}$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{32 (87.17)}{\pi (1103 \times 10^6)}}$$
$$d = 9.30 \text{ mm}$$

Considerando un factor de seguridad de 2 el nuevo diámetro final obtenido es:

$$d = NS * 9.30 = 18.6 \text{ mm}$$

Comercialmente podemos encontrar eje de 19 mm el cual satisface el requerido para nuestro diseño.

B.2 Dimensionamiento de la soldadura

Para obtener el espesor de la soldadura mínimo en la base que une al bastidor usando el método que se considera una línea la soldadura, se busca la configuración correspondiente para hallar la fuerza resultante.

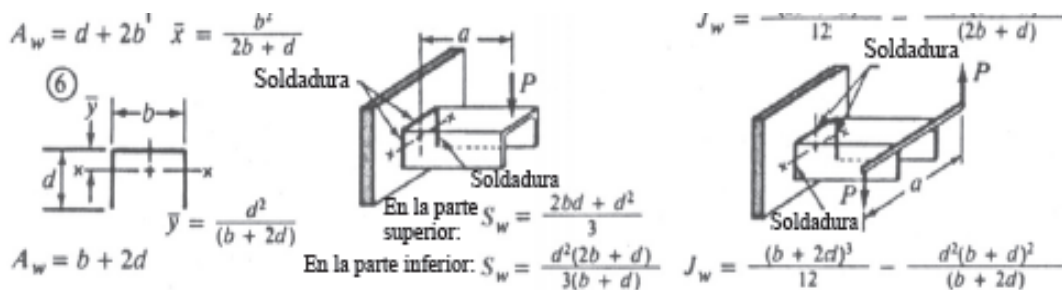


Figura B2 Factores geométricos para analizar la soldadura como una línea (Norton., 2009)

De la figura B2 se obtiene las ecuaciones de A_w y S_w para nuestra configuración.

$$S_w = \frac{2bd + d^2}{3} = \frac{2(0.125)(0.05) + 0.05^2}{3} = 0.005$$

$$A_w = b + 2d = 0.125 + 2 * 0.05 = 0.225$$

Por el método de Blodgett se tiene los factores f_s y f_b :

$$f_s = \frac{F}{A_w} = \frac{1500 \text{ N}}{0.225} = 6667$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{1500}{0.005} = 300000$$

Para hallar la fuerza resultante sobre la soldadura:

$$F_R = \sqrt{f_b^2 + f_s^2} = \sqrt{6667^2 + 300000^2} = 300074$$

Con la ecuación 2.4 se despeja el valor de la dimensión de la garganta de la soldadura (t)

$$\tau_{permisible} = 0.3S_{ut} = \frac{F_r}{t}$$
$$t = \frac{F_r}{0.3S_{ut}} = \frac{300074}{0.3(413.69 \times 10^6)} = 0.0024m = 2.41mm$$

Para obtener el ancho y suponiendo un filete de 45°, la dimensión será:

$$w = 1.414 * t = 1.414 * 2.41 = 3.40 \text{ mm}$$

APÉNDICE C

Fotos de construcción y prueba del equipo

C.1 Construcción del equipo

A continuación, se muestra la construcción de cada uno de los componentes del equipo en todas sus fases.



Figura C1. Primeras lecturas tomadas con el reflector y el panel



Figura C2. Soldadura de perfiles para crear el marco principal



Figura C3. Remoción de excesos de soldadura con pulidora



Figura C4. Fijación de los cojinetes en el marco



Figura C5. Maquinado del eje de acero inoxidable



Figura C6. Colocación del eje dentro de los cojinetes al marco.



Figura C7. Soldadura de los parantes en la base



Figura C8. Corrección de uniformidades en el metal



Figura C9. Perforación del acero para los agujeros guía.



Figura C10. Colocación del panel y verificación de las medidas.



Figura C11. Colocación del brazo del reflector al marco.



Figura C12. Colocación del reflector al sistema y ajustes varios.

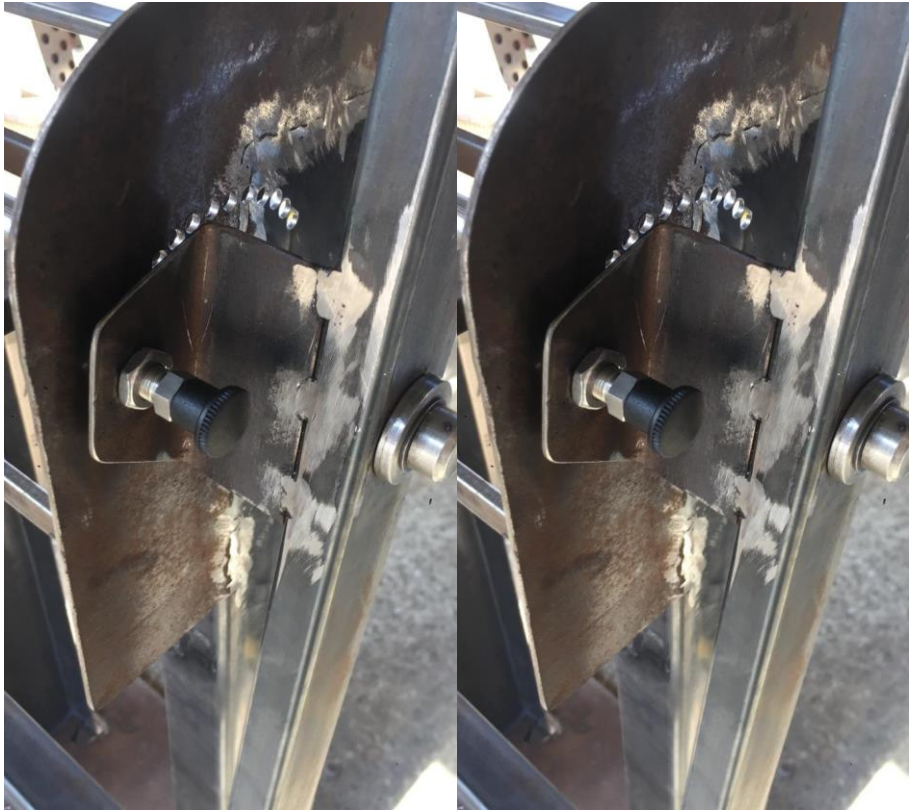


Figura C13. Instalación de los pasadores de bloqueo retráctiles



Figura C14. Desmontaje y aplicación de pintura al horno



Figura C15. Ensamble del equipo posterior al tiempo de secado de la pintura.



Figura C16. Instalación del panel y de topes de goma para el marco y panel.

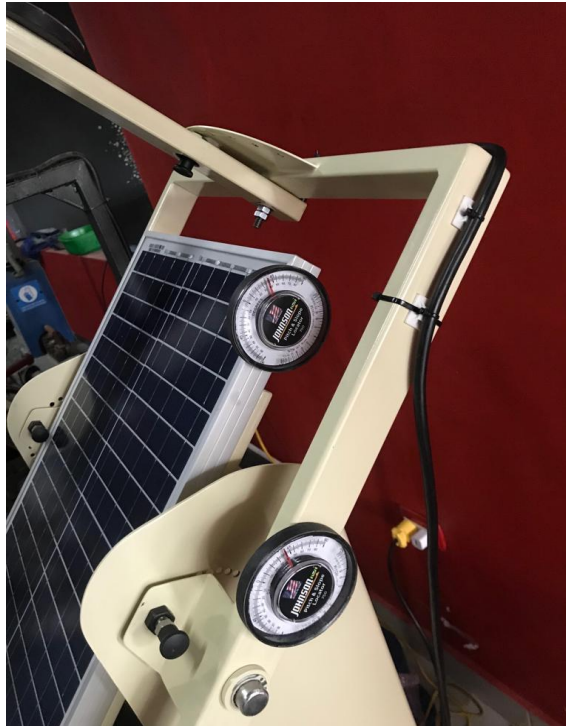


Figura C17. Instalación de guías angulares en el marco y panel.



Figura C18. Instalación de juntas plásticas para la distribución del cable eléctrico

C.2 Construcción del sistema de adquisición de datos

Las siguientes imágenes presentan el proceso y componentes empleados para la construcción del sistema de adquisición de datos de nuestro equipo.

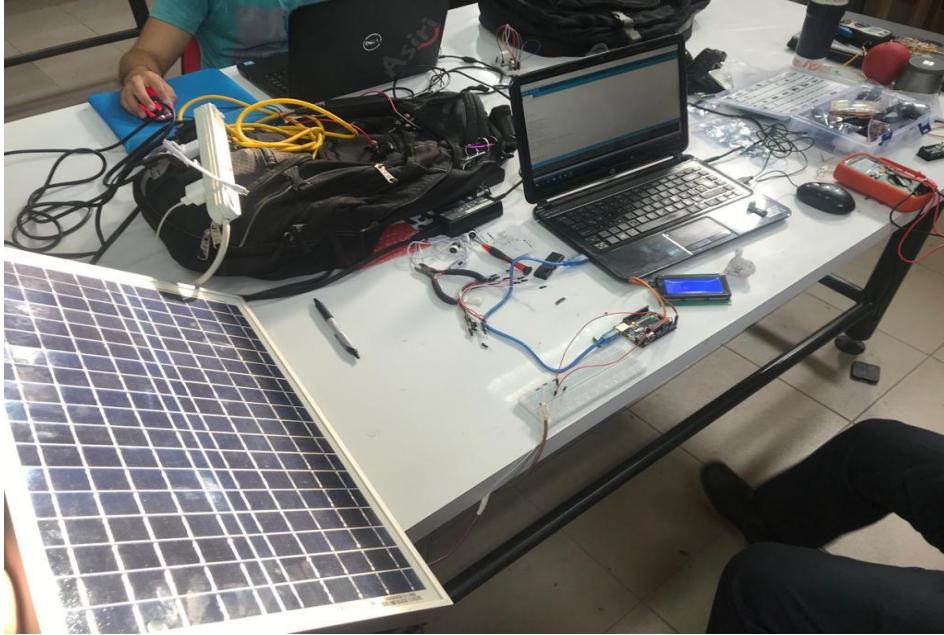


Figura C19. Primeras pruebas y programación de la tarjeta Arduino.

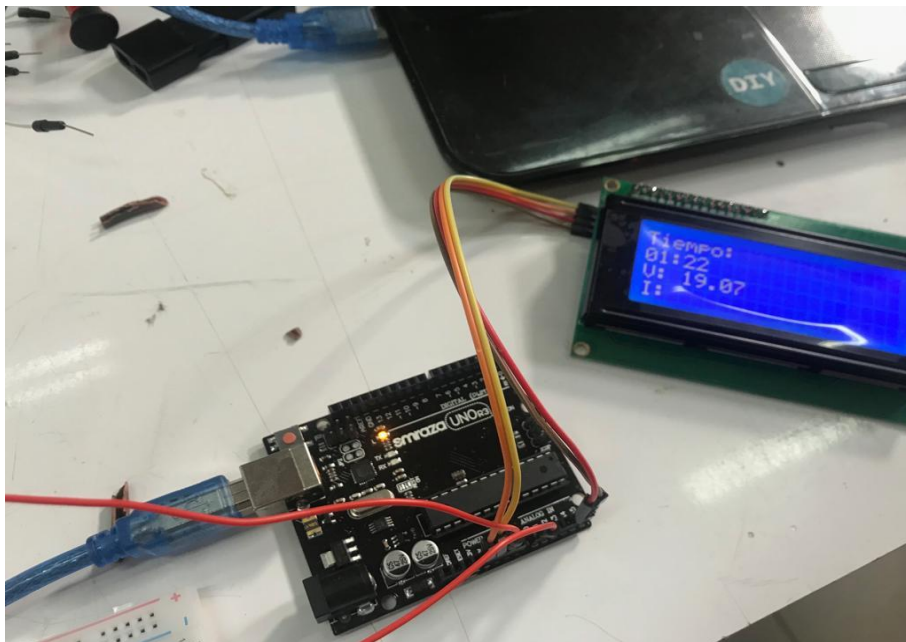


Figura C20. Programación de la pantalla LCD y creación de la interfaz visual.

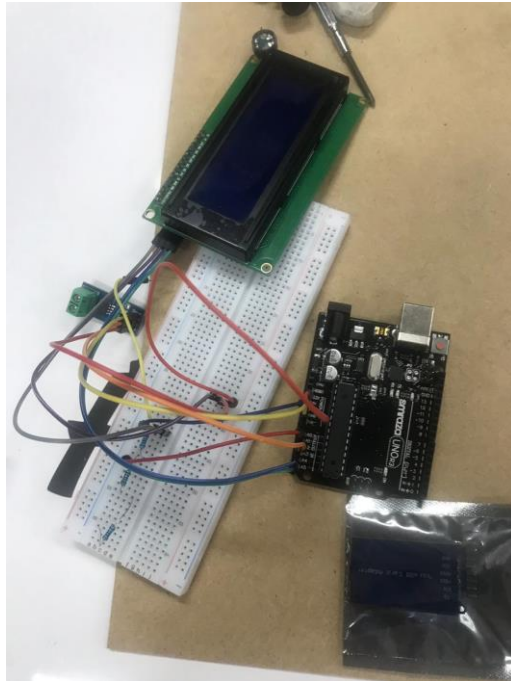


Figura C21. Pruebas de la interfaz con el módulo AC712 y varias resistencias.

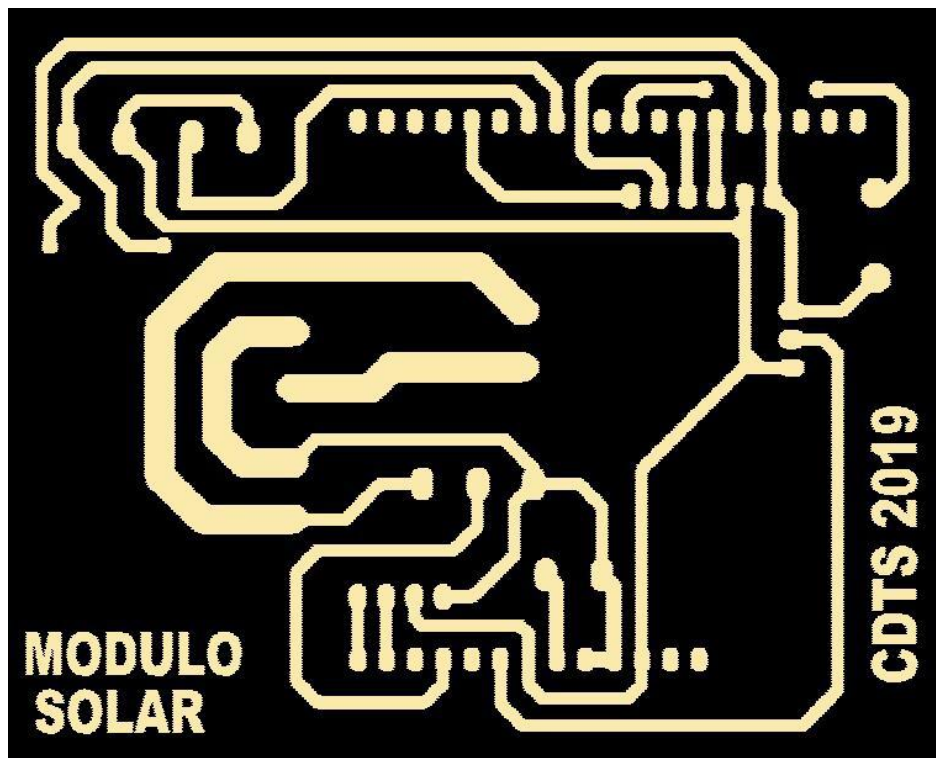


Figura C22. Diseño en Proteus de la placa del circuito



Figura C23. Grabado en laser de la placa del circuito.

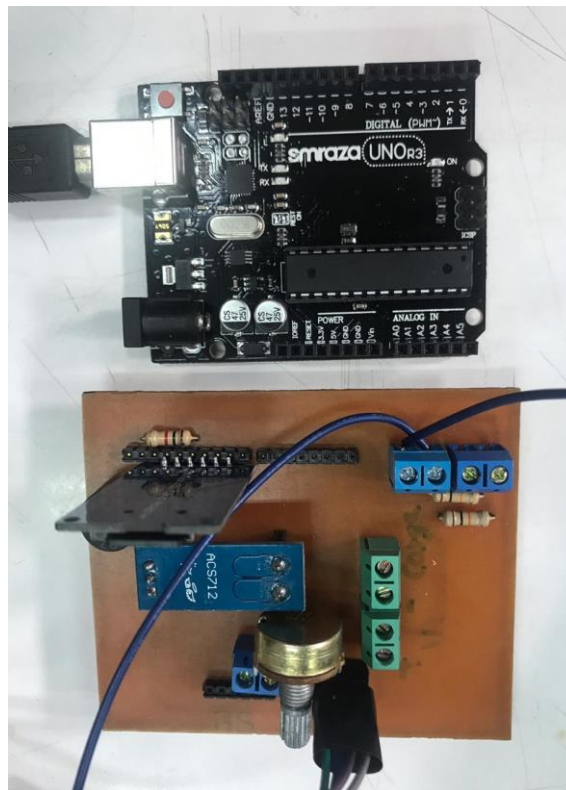


Figura C24 Instalación de los módulos y demás componentes sobre placa

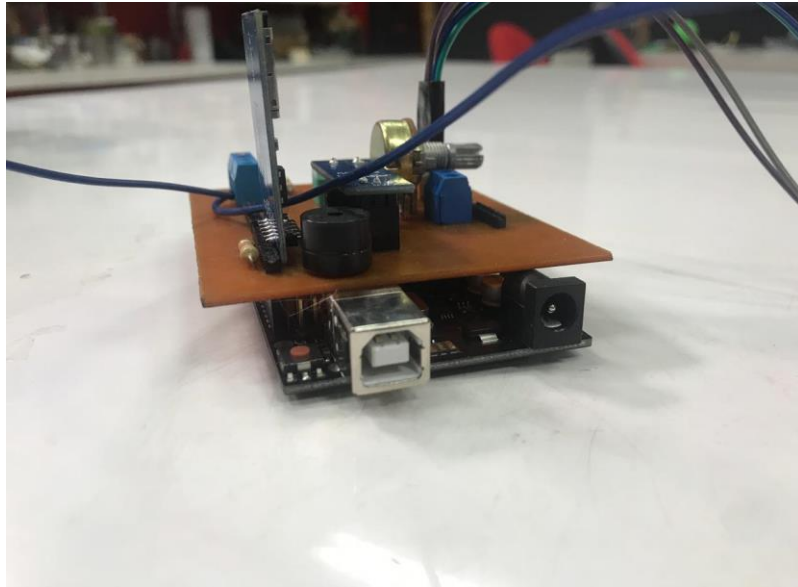


Figura C25. Placa montada sobre la tarjeta Arduino



Figura C26. Instalación del circuito dentro del cajetín

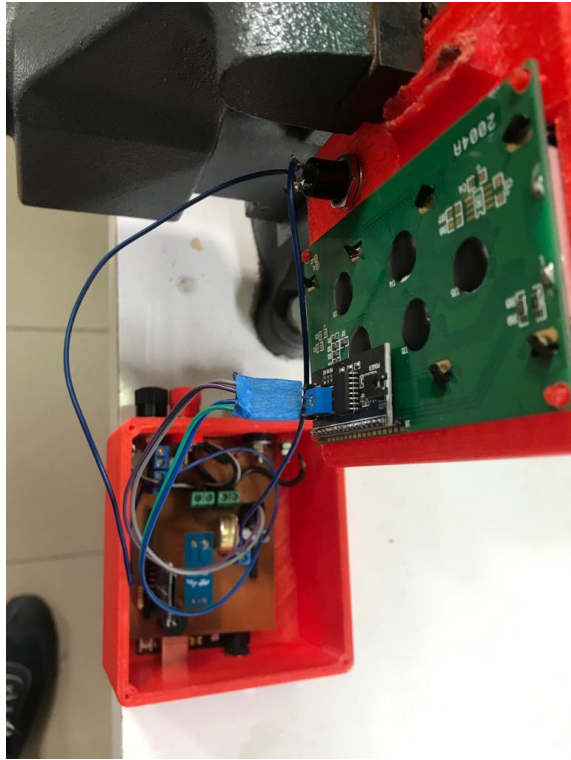


Figura C27. Colocación del módulo I2C al LCD y pulsador al sistema



Figura C28. Primer encendido del sistema electrónico con alimentación USB.

C.3 Pruebas de funcionamiento

Ahora se presentan fotos de las pruebas de funcionamiento realizadas en un entorno de laboratorio, simulando cómo se comporta el sistema encendido con carga y sin carga.

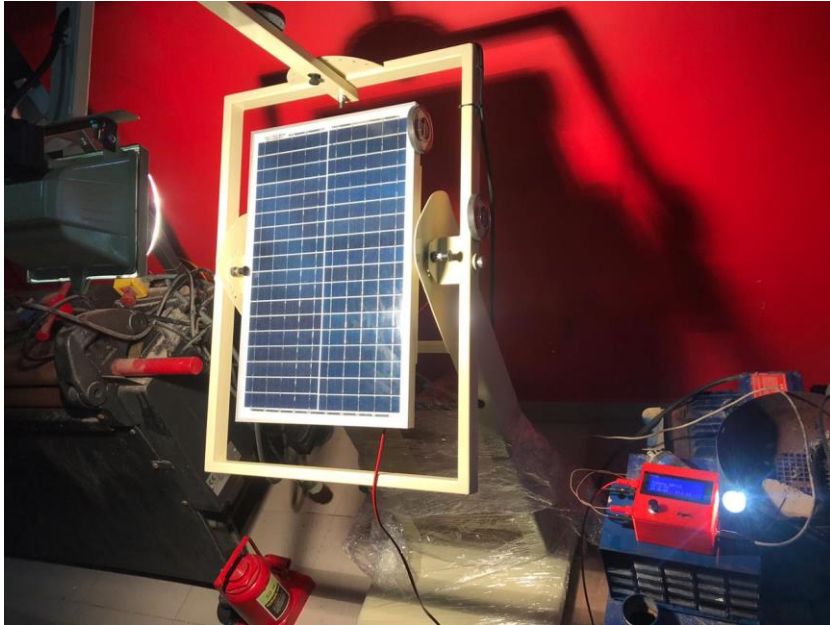


Figura C29. Sistema completo encendido y almacenando datos.

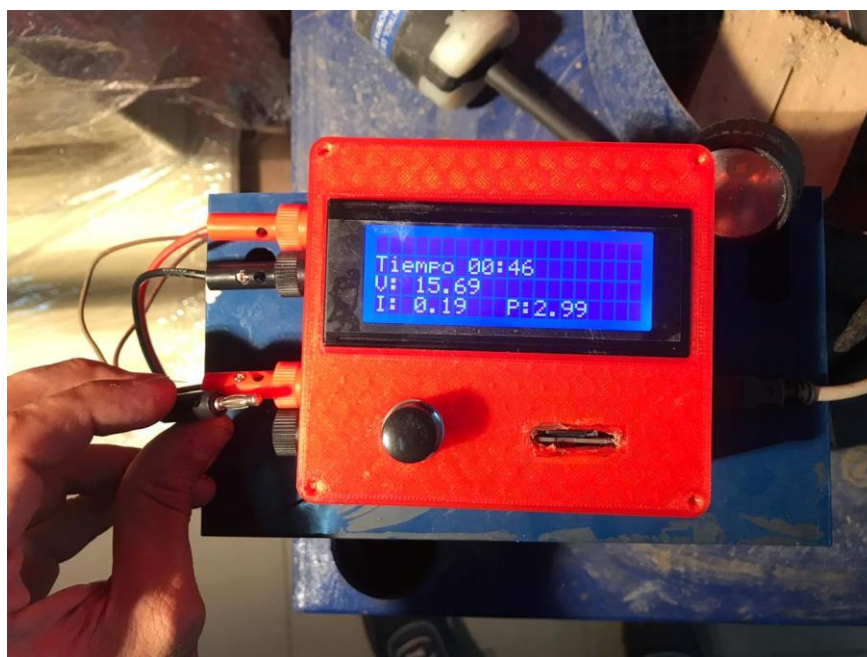


Figura C30. Prueba de funcionamiento con carga desconectada.



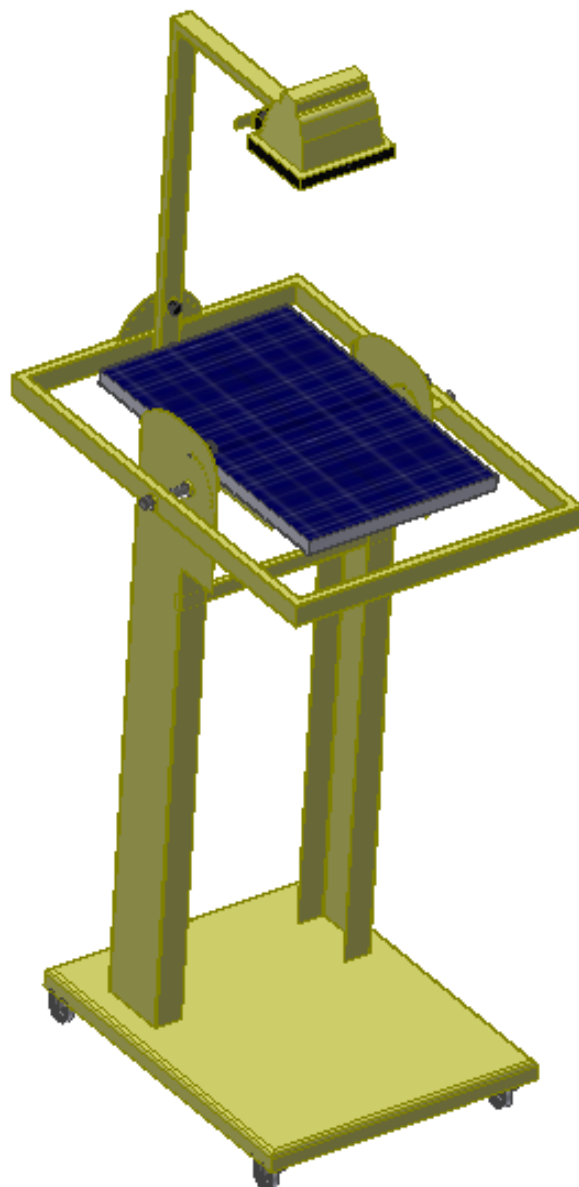
Figura C31. Prueba de funcionamiento con la carga conectada.

APÉNDICE D

Manual de instrucción para el operador

Módulo solar con emulador de la altitud solar

Modelo 001



E.1 Introducción

Se tiene un sistema modular de tres grados de libertad construido en su mayoría por acero estructural y un eje de acero inoxidable con un panel fotovoltaico de 25W y una fuente lumínica de 500W, ambos incorporados permitiéndonos obtener lecturas de corriente, voltaje y potencia en diferentes ángulos, siendo estos capaces de simular las diferentes posiciones del sol a lo largo del día obteniendo una distribución de energía captada con respectivos valores máximos y mínimos.

Toda esa información es recolectada, procesada y almacenada por nuestro sistema de adquisición de datos basado en una tarjeta Arduino y varios módulos, para ser almacenados en una tarjeta microSD y poder ser leídos en un computador.

E.2 Medidas de seguridad

Con la finalidad de prevenir accidentes por mal funcionamiento tanto para el equipo como al operador y el entorno se recomiendan seguir los siguientes lineamientos:

- No conectar el reflector y el sistema electrónico en regletas o en tomacorrientes saturados de conexiones.
- Al momento de operar cualquiera de los sistemas de movimiento apoyar con una mano sobre el sistema en cuestión mientras con la otra se extrae el pasador del bloqueo retráctil hasta encontrar la posición deseada.
- No apoyarse o ejercer presión sobre la estructura mientras se esté realizando la toma de datos.
- No acercarse al reflector mientras este encendido por la elevada cantidad de luz y temperatura que emite puede ocasionar quemaduras en la piel o daños en las vistas, manipular siempre desde la base del brazo.
- Retirar el seguro de las ruedas únicamente cuando el equipo este apagado y se tenga que desplazar de un lugar a otro.
- Verificar que exista el espacio suficiente en todas las direcciones para que el equipo junto con el operador pueda trabajar de manera óptima.

E.3 Instrucciones de Instalación y operación

1. Una vez adquirido el equipo para su instalación se debe buscar una ubicación alejada de fuentes luminosas directas que eviten generar lecturas con incertidumbre.

2. Ya seleccionado el lugar se procede colocar los seguros de la rueda y realizar las conexiones eléctricas de la lámpara y el sistema de adquisición de datos a un tomacorriente de 110V.

3. Realizamos las conexiones del panel y de la carga en las borneras a un costado del cajetín e insertamos la microSD en la ranura del cajetín.

4. Ajustamos las posiciones del panel y del brazo según los requerimientos de la práctica y colocamos el marco en su posición inicial.
5. Encendemos el reflector y presionamos el botón frontal del cajetín para iniciar con la toma de datos.
6. En pantalla observaremos en tiempo real los valores obtenidos por el panel y un contador que indicara el tiempo transcurrido de esa toma de datos.
7. El sistema nos alertara con un sonido y un mensaje en pantalla cuando debamos cambiar a la siguiente posición y para continuar con la lectura volvemos a presionar el botón frontal.
8. Este procedimiento se repite hasta la última posición del marco, una vez concluido se retira la microSD y se introduce en el computador.
9. Se mostrará un archivo con el nombre: *Datos.txt* en el que se presentaran valores ordenados según como se haya realizado la toma de datos en varias columnas y en formato de vector los valores de voltaje, corriente y potencia separados por una coma, de la siguiente manera:

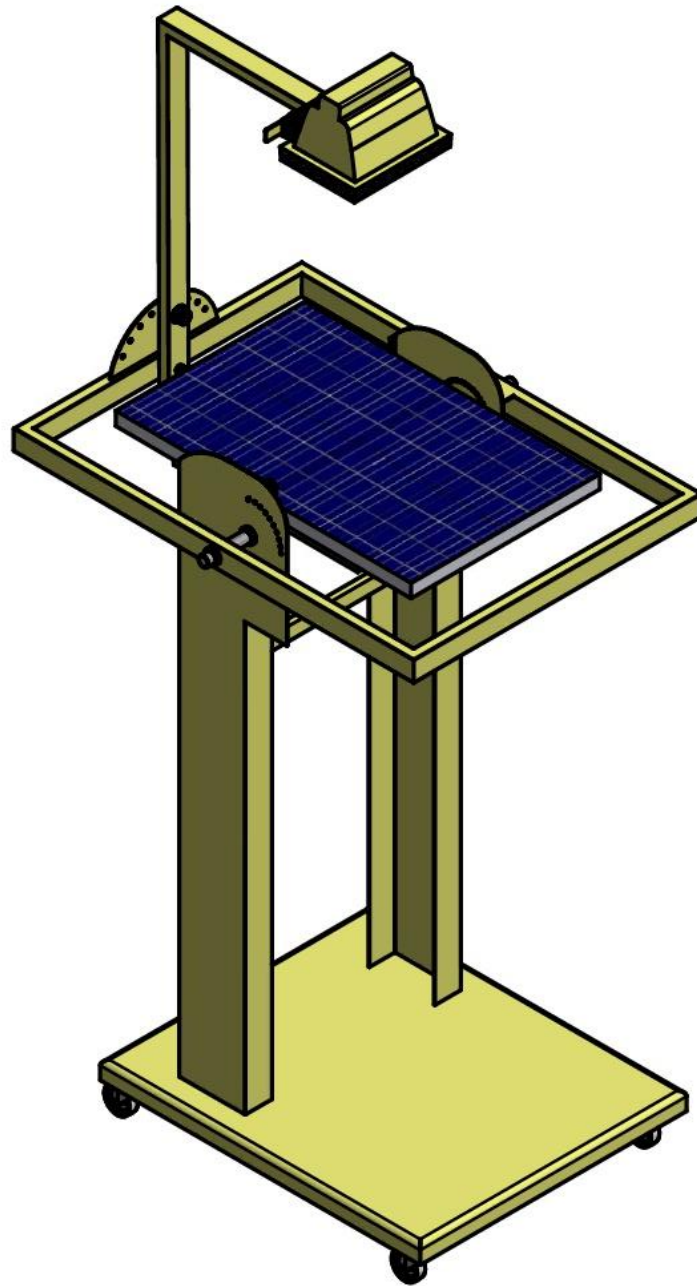
(Voltaje, Corriente, Potencia)
10. Estos valores pueden ser copiados y pegadas en otros programas para su respectivo análisis y obtención de graficas para su correcto y detallado análisis.

E.4 Cuidados y mantenimiento del equipo

El equipo fue construido para ser operado bajo condiciones de laboratorio, sin embargo, se tomaron las debidas precauciones de diseño para evitar al mínimo realizar mantenimientos que del equipo y que las piezas puedan fallar en caso de que estos no se realicen a tiempo.

- Verificar que el equipo no sea empleado en un ambiente muy húmedo, salino o con exposición directa con algún tipo de radiación.
- Antes de iniciar la practica verificar que los pasadores se puedan retirar y volver a su posición suavemente y los ejes se muevan con facilidad.
- Cada seis meses o cada que sea vaya a utilizar el equipo luego de un periodo largo de tiempo de inactividad lubricar levemente los ejes con un aceite limpiador multiusos.
- Encender únicamente la lampara en el momento de la práctica para prolongar al máximo su tiempo de vida.
- Antes de cada practica realizar una limpieza con un paño seco o brocha al panel y al reflector para evitar que se acumule polvo que produzcan a futuro un mal funcionamiento.
- Revisar las conexiones antes de encender el reflector y que ningún cable se cruce por la trayectoria del marco.

APÉNDICE E
Planos de Fabricación



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

MATERIA INTEGRADORA

FIMCP

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO POR:	DANIEL ZAMBRANO	21/01/2019
DIBUJADO POR:	DANNY OLMEDO	21/01/2019
REVISADO POR:	M.Sc JUAN PERALTA	29/01/2019
APROVADO POR:	Ph.D EMERITA DELGADO	29/01/2019

CONJUNTO:
MÓDULO SOLAR CON EMULADOR DE ALTITUD SOLAR

ESPOL

MATERIAL:

TÍTULO:
VISTA ISOMÉTRICA

2
A4

Escala: 1 :10

HOJA 1 DE 12

APÉNDICE F

Costos detallados de construcción

COSTO DE MATERIALES

Costo de materiales					
Materiales	Proveedor	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Total
Perfil en U	Comisariato del constructor	125X50X2.0 mm	1	\$18.19	\$18.19
Tubo rectangular	Comisariato del constructor	1 1/2" x 3/4" x 1.5 mm	1	\$8.25	\$8.25
Plancha Acero A36	Metal Hierro	900X900x2 mm	1	\$5.00	\$5.00
Soldadura	Diverzu	E6011 (libra)	1	\$4.00	\$4.00
Perno Acero inoxidable	Almacén "El amigo"	1/4"	7	\$0.12	\$0.84
Tuerca Acero inoxidable	Almacén "El amigo"	1/4"	7	\$0.09	\$0.63
Anillos planos A. Inoxidable	Almacén "El amigo"	1/4"	7	\$0.06	\$0.42
Anillos presión A. Inoxidable	Almacén "El amigo"	1/4"	7	\$0.06	\$0.42
Anillos de retención externas	Almacén "El amigo"	3/4"	4	\$0.25	\$1.00
Ruedas	Ferrisariato	4"	4	\$3.00	\$12.00
Pintura	Ferrisariato	Color hueso	1	\$10.00	\$10.00
				Total	\$60.75

COSTO DE COMPONENTES

Costo de componentes				
Componentes	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Total
Inclinómetro	Instrumentación	3	\$6.00	\$18.00
Pin Elástico	Émbolo elástico	3	\$18.00	\$54.00
			Total	\$72.00

COSTO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Costo de Componentes Electrónicos				
Detalle	Descripción del proceso	Cantidad	Precio Unitario	Total
Arduino UNO R3	Tarjeta microcontrolador	1	\$20.00	\$20.00
Pantalla LCD	LCD azul 20x4	1	\$4.00	\$4.00
Módulo I2C	Adaptador para la pantalla LCD	1	\$5.00	\$5.00
Resistencias	Resistores para medir voltaje	4	\$1.25	\$5.00
Pulsador	Para controlar la interfaz	1	\$1.00	\$1.00
Placa	Diseñada e impresa en laser	1	\$5.00	\$5.00
Borneras	Para entrada y salida de cargas	8	\$1.00	\$8.00
Elementos para soldar	Estaño, pasta para soldar, etc.	1	\$2.50	\$2.50
Módulo MicroSD	Para almacenamiento de datos	1	\$4.50	\$4.50
Diodo Led	Carga de salida para medir corriente	1	\$2.00	\$2.00
Buzzer	Emite sonido culminado cada ciclo	1	\$0.50	\$0.50
ACS712	Módulo para la medición de corriente	1	\$5.60	\$5.60
			Total	\$63.10

COSTO DE MECANIZADO

Costo de Mecanizado				
Detalle	Descripción del proceso	Cantidad	Precio Unitario	Total
Bocín	Torneado, cilindrado y desbaste	6	\$8.00	\$48.00
Eje	Ranurado	1	\$4.00	\$4.00
Plancha de Base	Doblado (Par obtener forma de bandeja)	1	\$5.00	\$5.00
Cajetín electrónico	Diseñado, impreso en 3D y pulido	1	20	\$20.00
			Total	\$77.00