

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE EN UNA ESTACIÓN DE CARGA DE
CELULARES UTILIZANDO PANELES SOLARES.**

**LUIS FELIPE DAZA CARRILLO
JUAN SEBASTIÁN PÉREZ ASELAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

2020

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE EN UNA ESTACIÓN DE CARGA DE
CELULARES UTILIZANDO PANELES SOLARES.**

Dr. OSCAR AMELINES SARRIA

Director de proyecto

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

LUIS FELIPE DAZA CARRILLO

JUAN SEBASTIÁN PÉREZ ASELAS

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

FLORIDABLANCA

2020

NOTA DE ACEPTACION

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por la infinita paciencia y ser el soporte de mi crecimiento personal y formación profesional. A mi padre por ser siempre un apoyo incondicional y formar el carácter de la persona que soy hoy en día.

A mis hermanos por ser parte de mi familia, por su cariño y sus buenos deseos en todo momento que fortalecieron mis ganas de seguir adelante. A mis amigos por estar siempre dispuestos a colaborar en cada parte de este proceso.

A mi compañero y amigo Sebastián Pérez por todo el esfuerzo realizado juntos en este proyecto y por último al profesor Oscar Felipe Amelines Sarria y a toda la comunidad de la Universidad Pontificia Bolivariana por su dedicación y ayuda en todas las inquietudes que surgieron a través del desarrollo del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre por el impulso y motivación para realizar una carrera profesional, además de su apoyo económico y emocional durante todo el proceso de formación.

A mis abuelos y a mi pareja por estar presentes en los momentos de adversidad, por su paciencia y apoyo incondicional.

A los docentes y personal de laboratorio por su disposición, conocimientos y soporte científico durante todo el desarrollo de este proyecto.

Por último, a mi compañero y gran amigo Felipe Daza porque compartimos la magnífica idea de llevar a cabo el proyecto mediante el cual vamos a dar a conocer al cuerpo de docentes métodos tecnológicos y científicos que van a trabajar en pro del medio ambiente del pueblo colombiano.

CONTENIDO

1	ANTECEDENTES.....	16
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
3	JUSTIFICACIÓN.....	23
4	OBJETIVOS.....	24
4.1	OBJETIVO GENERAL	24
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
5	MARCO TEÓRICO	26
5.1	ENERGÍA SOLAR	26
5.2	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	28
5.3	SEGUIDORES SOLARES.....	34
5.4	ARDUINO.....	36
5.5	SISTEMA DE POTENCIA	36
6	METODOLOGÍA.....	39
6.1	SELECCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-LINE.....	40
6.2	SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE	42
6.3	ESTRUCTURA DE SEGUIDOR SOLAR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	44
6.4	COMPRA, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	44
7	ANÁLISIS Y RESULTADOS	46
7.1	SELECCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-LINE.....	46
7.2	SELECCIÓN Y PROGAMACIÓN DE SISTEMA DE SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE	50
7.3	ESTRUCTURA DE SEGUIDOR SOLAR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	62
7.4	COMPRA Y MONTAJE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	74
8	CONCLUSIONES	89

9	REFERENCIAS	90
10	ANEXOS.....	96

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA COMPLETO.....	17
FIGURA 2. ESQUEMA DEL PROTOTIPO DE SEGUIDOR SOLAR DE UN SOLO EJE.	18
FIGURA 3. VISTA LATERAL PROTOTIPO SEGUIDOR SOLAR DE DOS EJES.....	18
FIGURA 4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN PARA SEGUIDOR SOLAR DE UN SOLO EJE CON VELOCIDAD VARIABLE.....	19
FIGURA 5. SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR TIPO BIELA-MANIVELA.	19
FIGURA 6. SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR UNIVERSIDAD DE VALLADOLID..	20
FIGURA 7. DIAGRAMA DE FLUJOS SEGUIDOR SOLAR TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.....	20
FIGURA 8. MONTAJE SEGUIDOR SOLAR.....	21
FIGURA 9. DISEÑO EN 3D DEL SEGUIDOR SOLAR REALIZADO EN LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA.	21
FIGURA 10. RADIACIÓN SOLAR.....	26
FIGURA 11. CENIT O APOGEO DEL SOL CON RESPECTO A UN OBJETO.	27
FIGURA 12. EFECTO FOTOELÉCTRICO, DESPLAZAMIENTO DE UN ELECTRÓN.	28
FIGURA 13. UNION P-N.	28
FIGURA 14. PANELES SOLARES.	29
FIGURA 15. CELDA TERCERA GENERACIÓN.....	31
FIGURA 16. SISTEMA ON-GRID.....	32
FIGURA 17. COMPONENTES SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID.....	33
FIGURA 18. COMPARACIÓN SISTEMAS CON RESPECTO A LA LATITUD.....	34
FIGURA 19. SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE.	35
FIGURA 20. TARJETA ARDUINO UNO.....	36
FIGURA 21. INTERIOR MOTOR PASO A PASO.	37
FIGURA 22. MOTORREDUCTOR DC CON FRENO.....	37
FIGURA 23. ACTUADOR LINEAL. FUENTE.	38
FIGURA 24. TABLA DE PROTOCOLO.....	39
FIGURA 25. HORAS SOLARES PICO EN BUCARAMANGA.....	48
FIGURA 26. FICHA ELÉCTRICA PANEL 290 W ZHSHINESOLAR.	50
FIGURA 27. EXCAVADORA GRANDE.....	51
FIGURA 28. FICHA TÉCNICA ARDUINO UNO R3.	53
FIGURA 29. DRIVER MOTOR DC L298N.	53
FIGURA 30. PLAZOLETA J 9 AM.	54
FIGURA 31. PLAZOLETA J 3PM.....	55
FIGURA 32. ENTRADAS Y SALIDAS.....	56
FIGURA 33. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO.	59
FIGURA 34. INGRESO DE PROGRAMACIÓN AL ARDUINO.....	60

FIGURA 35. ESQUEMA DE CONEXIONES SISTEMA DE CONTROL.....	61
FIGURA 36. MECANISMO SEGUIDOR.....	62
FIGURA 37. RENDERIZADO DEL SOPORTE Y EL SISTEMA DE SEGUIDOR ENSAMBLADOS.....	63
FIGURA 38. VIGA DE SOPORTE 2.5 METROS CARGA DISTRIBUIDA.	64
FIGURA 39. VIGA DE SOPORTE 2.5 METROS CARGA PUNTUALIZADA.....	64
FIGURA 40. VIGA DE SOPORTE 1.5 METROS CARGA DISTRIBUIDA Y PUNTUALIZADA.....	67
FIGURA 41. DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES.....	71
FIGURA 42. TENSIÓN DE VON MISES..	71
FIGURA 43. DEFORMACIÓN UNITARIA..	72
FIGURA 44. FACTOR DE SEGURIDAD.....	72
FIGURA 45. RESULTADOS ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SOPORTE SEGUIDOR. FACTOR DE SEGURIDAD.....	73
FIGURA 46. RESULTADOS ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SOPORTE SEGUIDOR. DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES.....	73
FIGURA 47. APARIENCIA FINAL DE LA ESTRUCTURA COMPLETA.....	74
FIGURA 48. FACTURA PANEL, REGULADOR Y MÓDULOS LED.	75
FIGURA 49. FACTURA DRIVER L298N, ARDUINO UNO, CABLE Y SISTEMA DE CARGA.....	76
FIGURA 50. FACTURA ACTUADOR LINEAL.....	77
FIGURA 51. FACTURA CABLE SISTEMA SOLAR Y CONECTORES MC4.	77
FIGURA 52. PERFILES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA..	78
FIGURA 53. PROCESO DE CORTE DE LOS PERFILES Y TUBERÍA DE ACERO.....	78
FIGURA 54. ARMADO DE ESTRUCTURA PRINCIPAL.....	79
FIGURA 55. INSTALACIÓN DE SOPORTES DIAGONALES LATERALES..	79
FIGURA 56. SOLDADURA APLICADA PARA FIJAR LA ESTRUCTURA.....	80
FIGURA 57. ESTRUCTURA TERMINADA SIN PINTAR..	80
FIGURA 58. ESTRUCTURA CON RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO Y PINTURA EN NEGRO MATE.....	81
FIGURA 59. TECHADO Y AISLAMIENTO TÉRMICO.....	81
FIGURA 60. SOPORTE PANEL SOLAR.....	82
FIGURA 61. SOPORTE PANEL SOLAR TERMINADO..	82
FIGURA 62. PRUEBAS CONTROLADOR ARDUINO UNO.....	83
FIGURA 63. PRUEBA FINAL DE CARRERA CON ARDUINO UNO..	83
FIGURA 64. GRÁFICA COMPARATIVA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ENTRE SISTEMA ESTÁTICO Y CON SEGUIDOR.....	88

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRINCIPALES FABRICANTES DE PANELES SOLARES.....	33
TABLA 2.VENTAJAS Y DESVENTAJAS SEGUIDOR SOLAR DE UNO Y DOS EJES..	35
TABLA 3. VALORES APROXIMADOS CALCULADOS INICIALMENTE PARA HACER PRESUPUESTO.....	40
TABLA 4. SELECCIÓN TENSIÓN BATERÍA. FUENTE.....	41
TABLA 5. TABLA COMPARATIVA DE SISTEMAS DE POTENCIA.	47
TABLA 6.TABLA DE CONSUMOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	47
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS CONTROLADORES ARDUINO.. ..	52
TABLA 8. ANGULO, LONGITUD, DESPLAZAMIENTO Y TIEMPO DEL ACTUADOR LINEAL.....	55
TABLA 9.VOLTAJE Y CORRIENTE PANEL CON SEGUIDOR.....	84
TABLA 10.SEGUNDA TOMA DE DATOS CON SEGUIDOR.....	85
TABLA 11. VOLTAJE Y CORRIENTE SISTEMA SOLAR FIJO.....	86
TABLA 12. WATTS GENERADOS POR HORA EN CADA PRUEBA.....	87
TABLA 13. COSTO FINAL SEGUIDOR SOLAR.....	88

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE EN UNA ESTACIÓN DE CARGA DE CELULARES UTILIZANDO PANELES SOLARES.

AUTOR(ES): Luis Felipe Daza Carrillo
Juan Sebastián Pérez Aselas

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Oscar Felipe Amelines Sarria

RESUMEN

En Colombia se ha aprovechado muy poco el recurso energético renovable, según las cifras de la Unidad de Planeación Minero-Energética, la energía solar fotovoltaica aprovechada en el país es apenas del 0.01%. Con el objetivo de impulsar el consumo de las energías renovables y autosostenibles, en este trabajo de grado, se diseñó, construyó y automatizó un sistema de seguimiento solar económico de un eje empleando un sistema de potencia controlado a través de una tarjeta Arduino. El sistema fabricado permite la carga de 6 celulares simultáneamente y tiene una autonomía de funcionamiento de 24 horas, ideales para días nublados. Debido a lo novedoso del sistema, éste fue donado a la UPB seccional Bucaramanga para disfrute de toda la comunidad. Adicionalmente, las pruebas de funcionamiento indicaron que el sistema con seguimiento solar automatizado con variaciones de ángulos a través del día, entrega mayor potencia que si el sistema fuese estático.

PALABRAS CLAVE:

Energía solar fotovoltaica, seguidor solar, Arduino, carga de celulares.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION OF A SIGLE AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM FOR USE IN A CELLPHONE CHARGING STATION POWERED SOLAR PANELS.

AUTHOR(S): Luis Felipe Daza Carrillo
Juan Sebastián Pérez Aselas

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Oscar Felipe Amelines Sarria

ABSTRACT

The renewable energy has had little use in Colombia, according to the data from the Mining-Energy Planning Unit, the photovoltaic solar energy used in 2018 in Colombia was only 0.01%. In an effort to promote the consumption of renewable and self-sustainable energies, in this thesis an economical single axis solar tracking system using a power system controlled through an Arduino card was design, automated and fabricated. This system allows to obtain greater power than the static systems. The system allowed up to 6 cell phones to be charged simultaneously. Also, the system displayed an operation autonomy of one day, which is ideal for cloudy days. Additionally, performance tests indicated that the use of automated solar tracking with angle variations system, is capable of delivering more power than the static system. Due to its novel and utility the system was donated to UPB university, sectional Bucaramanga.

KEYWORDS:

Photovoltaic solar energy, solar tracker, Arduino, cell phone charging.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de energía eléctrica se incrementa día con día debido, por un lado, al aumento de la población mundial y por otro lado a la dependencia cada vez más marcada de aparatos tecnológicos que consumen electricidad. Ante este panorama y el hecho de que las fuentes convencionales de producción de energía están agotándose, surge como una propuesta de la ONU dentro del documento de objetivos del desarrollo sostenible del 2015 [1], que se debe impulsar la energía de fuentes renovables y no contaminante en el mundo.

En este sentido, actualmente son de conocimiento varias fuentes de energía renovables como la solar, la eólica la biomasa y la micro generación hidroeléctrica. De las anteriores la segunda más usada es la energía solar [2] ,entre las cuales está la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica que implica la conversión de energía solar en eléctrica mediante paneles fotovoltaicos es uno de los mejores candidatos con los que actualmente se cuenta. En un principio el aprovechamiento de la energía del sol era limitado debido a que solo se contaba con sistemas estáticos, los cuales solo aprovechaban algunas horas del día los rayos del sol. En la actualidad es este tipo de sistemas han visto un crecimiento en su eficiencia de hasta el 40% [3] [4] debido al uso en conjunto con sistemas de seguimiento solar los cuales aseguran que los paneles reciban directamente los rayos del sol por más horas al día.

Esta tesis está dividida de la siguiente forma: en el primer capítulo se mostrarán los antecedentes donde se citarán autores y casos similares al propuesto. En el siguiente capítulo se hablará sobre el planteamiento del problema en el cual se abordarán las problemáticas actuales en cuanto a la utilización de energías renovables. Luego se pasará a la justificación donde se mencionan los argumentos para el desarrollo de la tesis, en el cuarto capítulo se definirán los objetivos generales y específicos. En el capítulo cinco se dará las bases teóricas de la energía solar fotovoltaica, seguidores solares y la programación a través de Arduino. Por último, en los capítulos seis, siete y ocho se describe la metodología, los resultados obtenidos y las principales conclusiones del trabajo.

1 ANTECEDENTES

Las energías renovables son aquellas que se pueden obtener de fuentes inagotables de origen natural [5]. Energías renovables como la solar, la eólica la biomasa, la micro generación hidroeléctrica se cuentan dentro de las energías renovables, entre éstas, la energía solar fotovoltaica es hoy en día la de mayor crecimiento, de acuerdo con cifras de la Agencia internacional de energías renovables, IRENA, con una capacidad instalada a nivel mundial de 486GW [6].

El primer reporte del uso de celdas solares fotovoltaicas en aplicaciones terrestres, puesto que hasta ese momento su uso era exclusivo de algunos satélites e ingeniería espacial, se remonta a 1966 al utilizarse como fuente de energía de un faro en la isla Ogami en Japón y así sustituir el uso de una antorcha de gas [7]. Desde ese entonces se han hecho muchos avances sobre celdas solares, a tal punto que actualmente además de las celdas solares de primera generación hechas a base de silicio monocristalino, policristalino y amorfo, existen celdas solares de segunda generación que usan otros semiconductores y celdas solares de tercera generación que usan materiales orgánicos los cuales son más económicos de fabricar y obtener que el silicio.

A pesar de dichos avances, son las celdas solares de silicio de primera generación y en especial las fabricadas a partir de silicio monocristalino las que más se usan. Aunque en el laboratorio su eficiencia puede alcanzar el 23% bajo condiciones estándar, en ambientes rurales y urbanos su eficiencia no sobrepasa valores de entre 13% y 17% [8]. Existen muchos factores para esta disminución de eficiencia como la nubosidad, el polvo, etc. Sin embargo, si se tomara un promedio de la eficiencia diario (mientras haya luz solar) se encontraría que dicha eficiencia no es constante durante el día y en gran parte del día está por debajo del rango indicado anteriormente. Esto se debe a un pobre aprovechamiento de la energía solar.

El problema del aprovechamiento de la energía solar ha sido objeto de estudio a lo largo de los años y se ha tratado de solucionar de diferentes maneras, el principal factor para tener en cuenta es el poco tiempo de exposición, perpendicular, con los rayos del sol por parte de los paneles. Una forma de solucionar este problema es haciendo un sistema de seguimiento activo que permita seguir la dirección del sol en el transcurso del día.

Existen en la literatura varios reportes de sistemas de seguimiento solar aplicado a celdas fotovoltaicas [9] [10] [11]. Diversos factores deben ser tenidos en cuenta en estos sistemas de seguimiento para su correcto funcionamiento, por ejemplo, el mecanismo debe volver a su posición inicial al final del día, debe ser económico, se debe asegurar la vida útil de dicho mecanismo, debe consumir poca energía y que trabaje bajo condiciones de intemperie [2].

En la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, como se puede ver en la Fig.1, se desarrolló una de las posibles soluciones a estos inconvenientes, la construcción de un sistema que consta de 4 fases: un sistema electrónico; sistema electromecánico; controlador y software. A continuación, un esquema completo de dicho sistema:

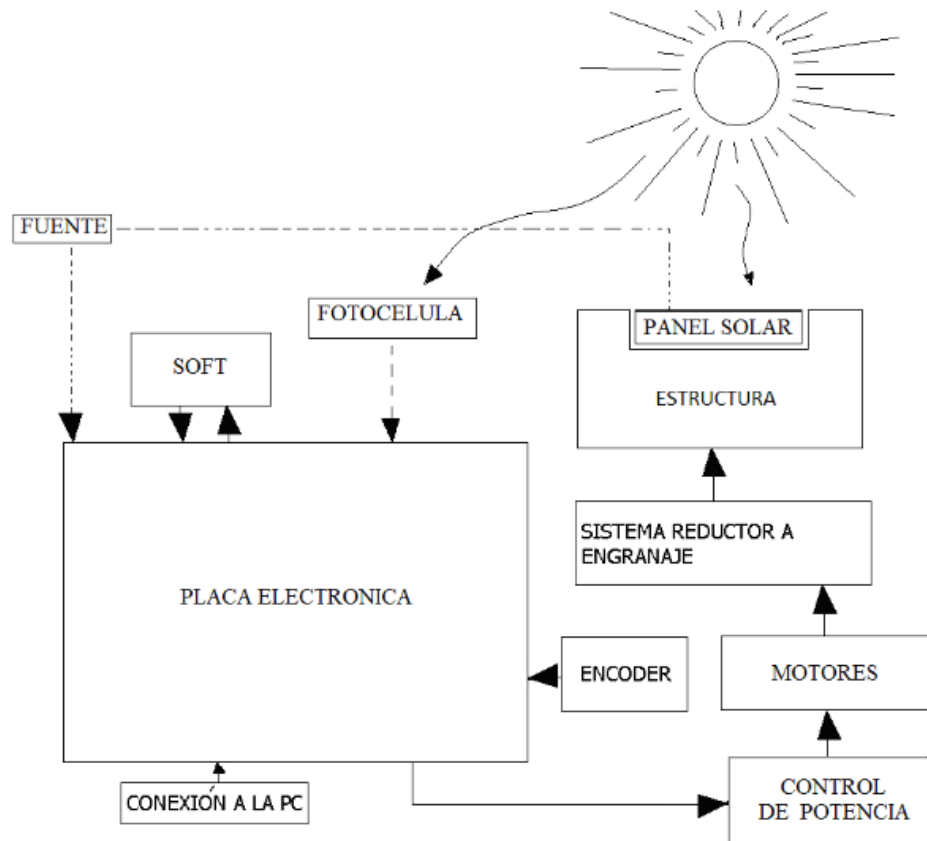


Figura 1. Esquema de las partes constitutivas del sistema completo. Fuente. [12]

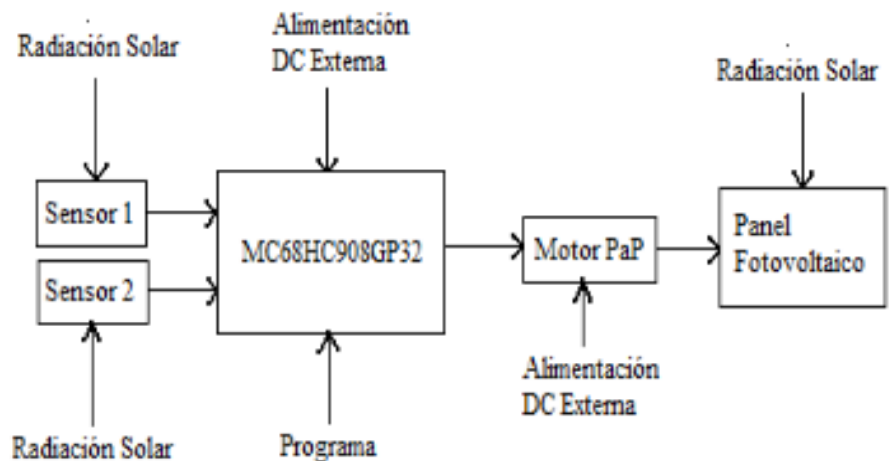


Figura 2. Esquema del prototipo de seguidor solar de un solo eje. Fuente. [13]

En la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, Fig.2, se desarrolló un sistema de seguimiento solar de un solo eje el cual consta de 4 etapas básicas: recepción y acondicionamiento de la señal de entrada, procesamiento de la señal, etapa de control y etapa de potencia. [13]

Otra configuración de seguidor solar se muestra en la Fig.3 (esta vez de dos ejes), la cual fue realizada en la Universidad de la Salle en Bogotá Colombia, dicho sistema consistía en dos mecanismos de cadenas y piñones los cuales permitían variar el ángulo del panel con respecto a la horizontal además de facilitar el ajuste del ángulo del sol con respecto a la tierra. [14]

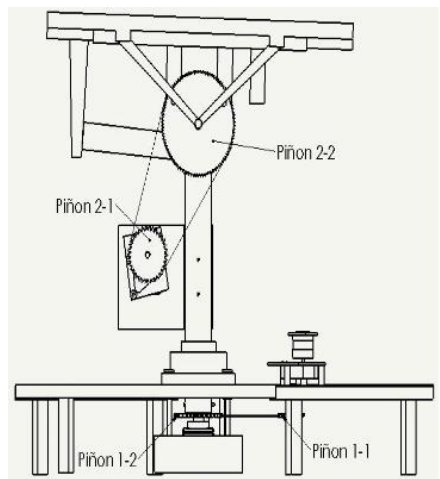


Figura 3. Vista lateral prototipo seguidor solar de dos ejes. Fuente. [14]

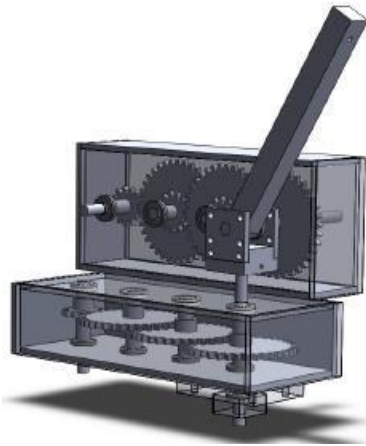


Figura 4. Sistema de transmisión para seguidor solar de un solo eje con velocidad variable. Fuente. [3]

En otros países como México se han desarrollado sistemas de transmisión que funcionan como cajas de velocidad y según la configuración deseada, véase la Fig.4, puede variar el ángulo de inclinación del panel con respecto a la horizontal en intervalos definidos, en este caso de cada 60 minutos, cada media hora y cada 5 minutos, obteniendo resultados favorables y aumentos de eficiencia de hasta un 27.98% [3]

En la Fig.5 se puede observar un sistema para una aplicación a mayor escala, estas configuraciones funcionan bajo el mismo principio de biela-manivela, dichos sistemas permiten un desplazamiento angular de los paneles, con respecto a la horizontal desde los $+45^\circ$ hasta los -45° , minimizando el tamaño requerido para el funcionamiento interno del mecanismo y resultando bastante eficientes puesto que el consumo energético es mínimo en comparación a otros sistemas que utilizan servomotores [15]

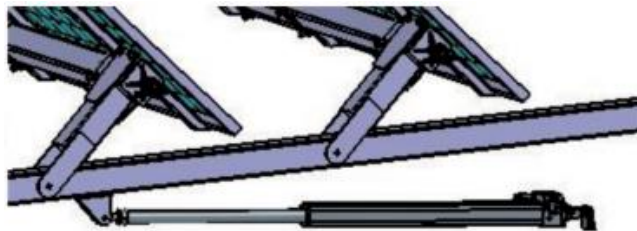


Figura 5. Sistema de seguimiento solar tipo biela-manivela. Fuente. [15]



Figura 6. Sistema de seguimiento solar universidad de Valladolid. Fuente. [16]

Existen también otros tipos de seguidores solares de un solo eje, como el construido en la Universidad de Valladolid, España (Fig. 6) los cuales consisten en un actuador el cual puede hacer un movimiento de entre 0 y 90°, estas aplicaciones resultan poco viables debido al alto costo de este tipo de mecanismos los cuales además están sometidos a altos momentos y se ven limitados a pequeños paneles, aunque el control del movimiento es muy preciso. [16]

Existen otros desarrollos realizados en el Tecnológico Nacional de México en Celaya, México, donde por medio de un controlador Arduino se pudo controlar la posición de un panel solar utilizando un motor paso a paso, aunque este desarrollo fue solo para realizar un estudio comparativo de la eficiencia de los paneles estáticos y los paneles con seguimiento solar de un eje. [17]. En la Fig.7 se puede ver un esquema donde se muestra cómo funciona dicho sistema y en la Fig.8 el montaje real.

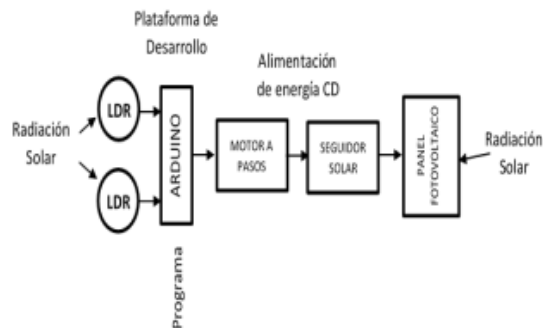


Figura 7. Diagrama de flujos seguidor solar Tecnológico Nacional de México. Fuente. [17]



Figura 8. Montaje seguidor solar. Fuente. [17]

Como se puede observar en la Fig.9, en Colombia, en la Fundación Universidad de América, se realizó un diseño de un seguir solar de dos ejes el cual podría, en teoría, seguir la trayectoria del sol de manera muy precisa con la correcta programación de un controlador Arduino de primera generación, pero dicho diseño nunca llegó a la fase de prototipo. [18]

Como se puede ver existe evidencia de que se ha intentado trabajar en el desarrollo de esta tecnología en muchas partes del mundo, pero por costos o por aplicación no han sido desarrollados de una manera aplicable y solo han quedado como objeto de estudio y comparaciones a escala con otros sistemas de posicionamiento.

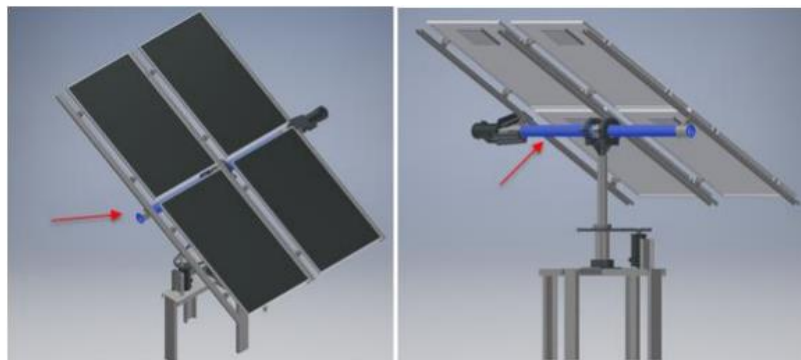


Figura 9. Diseño en 3D del seguidor solar realizado en la Fundación Universidad América. Fuente. [18]

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia se ha aprovechado muy poco el recurso energético renovable, según las cifras de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) en Colombia la energía solar fotovoltaica aprovechada para suplir la demanda del Sistema Interconectado Nacional es apenas del 0.01% [19]. Es claro que las universidades deben jugar un papel determinante para aumentar este porcentaje incentivando a los estudiantes a estos terrenos.

En la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga se tienen 4 bancos de pruebas con energía solar fotovoltaica en el edificio CDT (centro agro desarrollo tecnológico) y otro sistema en el edificio K con una potencia de 100 Watts y 135 Watts. Sin embargo, ninguno de los sistemas antes mencionados presenta un sistema de seguimiento solar. Algunos autores reportan que un sistema solar fotovoltaico con sistema de seguimiento solar puede recibir entre 35% y 40% más de energía que la de un sistema fotovoltaico estático [3] [4]. Esto denota que es necesario tener un sistema de seguimiento solar económico y eficiente en todo tipo de instalación solar fotovoltaica.

Si se tiene en cuenta que la eficiencia de los paneles solares varía entre 13% a 17% [8] y que en un sistema estático parte de la energía del sol no puede ser aprovechada, lo anterior se convierte en un problema si se necesita usar las celdas solares fotovoltaicas en una aplicación práctica. Para dar una solución a este problema se han desarrollado sistemas de seguimiento solar como los que se mostraron en la sección anterior, sin embargo, muchos de éstos tienen un costo elevado por lo cual no se fabrican y otros no son automatizados. Lo anterior indica que hace falta más investigación para poder desarrollar tecnología que permita dar solución a los problemas antes mencionados.

3 JUSTIFICACIÓN

Gran parte de los paneles solares fotovoltaicos instalados a nivel mundial y en Colombia en particular, sitúan el panel a un ángulo fijo, lo cual le impide aprovechar entre 35% y 40% [4] [3] de la energía solar. En este proyecto, se pretende diseñar y construir un sistema de seguimiento solar económico de un solo eje que permita aumentar la potencia diaria recibida de un sistema fotovoltaico. Adicionalmente se pretende automatizar el proceso para de esta forma aprovechar más la radiación solar. El sistema será donado a la comunidad UPB seccional Bucaramanga y permitirá la carga de hasta 6 celulares de forma simultánea. Dicho sistema será soportado sobre una estructura metálica con un diseño moderno y estético. Además, este será utilizado en el semillero de energías renovables de la universidad para incentivar a los estudiantes a realizar mejoras, brindando libertad en la modificación del control y el tipo de mecanismo de esta tecnología.

Este proyecto de grado aporta a los ingenieros mecánicos conocimientos en automatización, selección de equipos e implementación de sistemas fotovoltaicos y cálculo de cargas de estructuras metálicas. También da una mayor perspectiva de la necesidad del uso de energías renovables como reemplazo de la obtención de energía actual y como pueden ayudar a promover e innovar estas tecnologías desde los conocimientos adquiridos en su carrera, además de poder explorar en uno de los tantos campos que pueden desempeñarse como ingenieros mecánicos.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y fabricar un sistema de seguimiento solar económico de un eje empleando un sistema de potencia controlado a través de una tarjeta Arduino, para ser implementado en una estación de carga autosuficiente de celulares utilizando paneles solares que se pondrá a disposición de la comunidad UPB seccional Bucaramanga.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cantidad de paneles, capacidad de la batería, inversor y regulador a partir de la potencia necesaria para tener un sistema autosuficiente.

Indicador: Consumo energético de 4 dispositivos celulares y sistema de seguidor solar, Además, formulas y cálculos teóricos para seleccionar el sistema fotovoltaico.

Resultado: Entrega de selección de paneles, batería, regulador e inversor a usar en el sistema fotovoltaico.

- Seleccionar y programar el sistema de seguimiento solar de un eje compuesto por un controlador Arduino y un sistema de potencia.

Indicador: Lenguaje de programación Arduino, trayectoria del sol en la zona y cálculos teóricos de esfuerzos.

Resultado: Selección de sistema de potencia y controlador Arduino a utilizar en el sistema de seguimiento solar. Además, entrega de líneas de programación relacionadas al movimiento del panel y el controlador Arduino con su respectiva programación.

- Diseñar un sistema mecánico de seguimiento solar de un eje y estructura de soporte, contemplando los espacios de la estación de carga y de los usuarios.

Indicador: Cálculos de esfuerzos, diseño en software CAD, textos de diseño de estructuras y catálogos de materiales.

Resultado: Entrega de planos 3D, análisis de carga y materiales del sistema mecánico de seguimiento solar y de la estructura que soportará todo el sistema.

- Fabricar los sistemas diseñados y hacer pruebas comparativas de potencia diaria entregada por panel estático y con seguimiento.

Indicador: Planos obtenidos a través del diseño y recopilación de datos de potencia diaria entregada por ambos sistemas.

Resultado: Entrega de estación de carga junto con el sistema de seguidor solar y adicionalmente los resultados de la prueba comparativa entre un sistema estático y dinámico (seguidor solar)

5 MARCO TEÓRICO

5.1 ENERGÍA SOLAR

El sol es la fuente de energía que permite que haya vida en el planeta, este emite 62.600 KW por cada metro cuadrado. El sol tiene un estimado de vida de 5 mil millones de años, para la humanidad es casi un recurso ilimitado, la energía que brinda el sol es tan grande que en solo 2 días recibimos lo equivalente a la reserva de carbón, gas y petróleo existentes lo cual es aproximadamente 60 veces lo que consume la humanidad en un año. Esto da la perspectiva de la gran cantidad de energía que nos brinda esta gran estrella. [20]

5.1.1 RADIACIÓN SOLAR



Figura 10. Radiación solar. Fuente. [21]

La radiación solar (Fig.10) es la forma en que se recibe la energía emitida por el sol hacia la tierra, este llega con una longitud de onda entre 300 y 2.500 nm. [21].

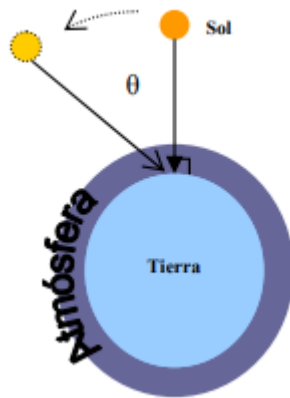


Figura 11. Cenit o apogeo del sol con respecto a un objeto. Fuente. [22]

La radiación solar es mitigada por muchos factores, entre ellos las partículas existentes dentro de la atmósfera terrestre y también la distancia que hay hacia el receptor. En el espacio no se tienen esos inconvenientes por lo cual se tiene una constante AM0 (Masa de aire 0) la cual dice que solo afecta la distancia que hay con el sol pero no particular, esta constante es usada para satélites y aplicaciones espaciales, el AM0 indica que hay una potencia dada por el sol de 1360W/m^2 , después de esta se tiene un AM1 la cual indica una distancia mayor y partículas de polvo existentes en la atmósfera terrestre lo cual disminuye la potencia aproximadamente a 970W/m^2 esta es cuando el sol está en su apogeo es decir en el cenit teniendo un Angulo de 90° con respecto al objeto como se muestra en la Fig.11. En celdas fotovoltaicas es muy común realizar pruebas con un AM1.5G el cual ha sido normalizado con una potencia de 1000W/m^2 . [22]

5.1.2 MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL

En la tierra se ve al sol con un constante movimiento el cual es una percepción que se da gracias a los movimientos que realiza la tierra (rotación y traslación), en si el sol no se mueve, pero eso es lo que se percibe, a este movimiento se le llama movimiento aparente del sol.

El movimiento que se ve del sol en la tierra durante el día este entre este y oeste, saliendo del primero mencionado hacia el segundo. El medio día (12:00) es una hora solar donde el sol presenta su máxima elevación. [23]

El cenit o elevación, es el ángulo que se genera entre el plano del observador y la máxima elevación de un cuerpo celeste o el sol el ángulo cenit es de 90° [24], y el azimut es el ángulo con respecto al norte, el cual se mide en sentido horario en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur. [25]

5.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

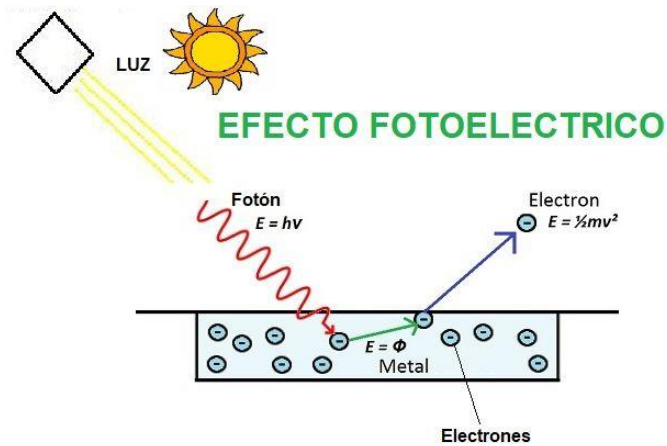


Figura 12. Efecto fotoeléctrico, desplazamiento de un electrón. Fuente. [26]

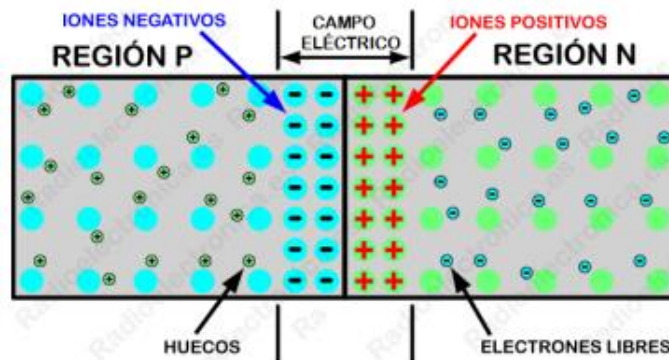


Figura 13. Unión P-N. Fuente. [26]

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable proveniente del aprovechamiento de la radiación solar, a partir del uso de paneles solares que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aplicables a múltiples actividades de la vida. Las celdas fotovoltaicas son instrumentos formados por metales semiconductores los

cuales se dopan con otros materiales para crear una reacción a la luz, esta reacción provoca un exceso de electrones y protones lo que genera la energía eléctrica. [27]

Mas internamente cuando un material como el silicio asimila luz o radiación, los electrones se transportan desde la banda de valencia hasta la banda de conducción esto se da por el efecto foto eléctrico el cual se observa en la Fig.12. si se Considera que la radiación que llega a la tierra desde el sol sólo es una región del espectro electromagnético como la ultravioleta, visible e infrarrojo cercano es necesario utilizar materiales con un band gap (es la distancia o separación que hay entre la banda de valencia y la de conducción) que permita aprovechar esta radiación para fines energéticos. Los materiales usados para aplicaciones fotovoltaicas son los semiconductores como el silicio [21] Es importante que el band gap este entre 1 a 1.6 eV (como en el silicio) ya que de acuerdo al límite de Shockley–Queisser este es el rango de valores más óptimos para aprovechar la radiación del sol y evitar calentamiento. [28]

Una celda fotovoltaica de silicio se compone de dos regiones, una dopada tipo P y otra dopada tipo N. Para lograr esto, químicamente se sustituye algunos átomos de silicio por átomos de fósforo que poseen 5 electrones de valencia (uno más que el de silicio), quedando así un electrón libre lo cual da paso al silicio tipo N. Para obtener el silicio tipo P, la sustitución se da por átomos de boro que tienen un electrón de valencia de menos, quedando un “hueco” disponible (Fig.13). Esta unión permite la generación de un campo eléctrico que direcciona el sentido de circulación de los electrones, permitiendo crear una corriente eléctrica. [26]



Figura 14. Paneles solares. Fuente. [27]

Los paneles solares (Fig.14) se fabrican en forma de módulos pequeños, esto lo hace aplicable para cualquier uso como el hogar, campo o inclusive grandes industrias. Los paneles solares requieren poco mantenimiento además de ser una energía limpia. [27]

5.2.1 HSP (Hora Solar Pico)

El valor de la irradiación sentido en un lugar del planeta varía constantemente en el día debido a la rotación de la tierra. Por lo tanto para facilitar los cálculos de eficiencia de paneles solares se usa la energía solar pico (HSP), que se define como la energía por unidad de área con una hipotética irradiancia solar constante de 1 kW/m².

Para explicar mejor, suponga que el HSP en un lugar del planeta es de 5 kWh/m², si se divide por la irradiación solar (1 kW/m²), se obtiene el valor del HSP que en este caso es de 5. Con este dato, se puede obtener la potencia que entrega un panel. [29]

5.2.2 Tipos de celdas fotovoltaicas

Existen varios tipos de celdas fotovoltaicas entre ellas están las celdas de primera, segunda, tercera y hasta cuarta generación.

- La primera generación consiste en celdas de silicio monocristalino y policristalino, que a pesar de ser las más comunes son costosas por el proceso de obtención del silicio puro. [30]
 - ✓ Silicio Puro monocristalino: Se obtienen a partir de secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para este tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%. [30]

Fabricación: Para fabricar el silicio monocristalino se usa el método Czochralski o método CZ, en el que una barra de silicio monocristalino toca la superficie del silicio fundido contenido en un crisol. Conforme la semilla del cristal se va extrayendo muy lentamente, el silicio fundido se solidifica y sus átomos siguen la estructura de la semilla y, por tanto, van extendiendo la estructura monocristalina. [31]

- ✓ Silicio puro policristalino: a pesar de que los materiales son similares a los del silicio monocristalino el proceso para obtenerlo es distinto y más económico que el anterior. Los paneles policristalinos al igual que el anterior son secciones de una barra de silicio, pero con una estructura interna más desordenada, su aspecto en la superficie suele ser granuloso. En este se obtiene un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo. [30]

- Segunda generación

Estos intentan ser más delgados y así mejorar su flexibilidad y algunos de sus materiales pueden lograr mejores eficiencias que los de primera generación, aun así, los que mejoran su eficiencia son demasiado costosos.

- ✓ Silicio amorfo. (TFS) También de silicio, pero a diferencia de la primera generación, este material tiene estructura cristalina. Estos paneles se usan en pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su eficiencia máxima alcanzada en laboratorio ha sido del 13% y comercialmente de 8%. [30]
- ✓ Teluro de cadmio: Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%. [30]
- ✓ Arseniuro de Galio: da eficiencias en laboratorio del 25.7% y comercialmente del 20%, es uno de los que presenta un mayor rendimiento o eficiencia. [30]
- ✓ Di seleniuro de cobre en indio: Eficiencia en laboratorio al 17% aproximadamente y en módulos comerciales del 9%. [30]
- ✓ Triple unión: GaAs, Ge y GalnP2 la unión de estos tres semiconductores obtiene un rendimiento del 39%. [30]

- Tercera generación

La tercera generación, son células solares variadas, unas usan compuestos orgánicos, hay otras organometálicas como las basadas en perovskitas. Estas celdas en muchos casos son más baratas y fáciles de fabricar que una de silicio, además algunas son flexibles y han llegado a eficiencias por encima de 25%. [32]



Figura 15. Celda tercera generación. Fuente. [32]

En esta generación a pesar de que no se considera una nueva, ya que es derivada de las anteriores, se llaman celdas tándem las cuales son celdas que combinan las diferentes tecnologías logrando eficiencias de hasta 46% con combinación de 4 o más celdas diferentes.

5.2.3 CONFIGURACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Normalmente un sistema fotovoltaico está compuesto por: paneles solares, baterías que son las que acumulan la energía generada por los paneles, regulador -controlador de carga que se encarga de cargar de forma segura las baterías, el inversor de corriente que convierte la corriente directa en alterna y los tableros e instalaciones eléctricas que distribuyen la electricidad. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser Off-Grid o también On-Grid . [33]

- On-Grid: Son aquellos sistemas que están interconectados con la red nacional, aportan parte o completamente su producción a la red de distribución. Estos sistemas fotovoltaicos pueden ser una planta de generación fotovoltaica o una RED de una casa común que desea aportar a la red local. Se puede observar su composición en la Fig.16. [31]

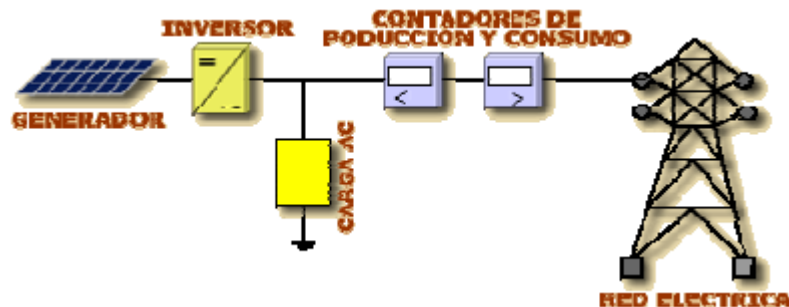


Figura 16. Sistema On-Grid. Fuente. [31]

- Off-Grid(Fig.17): Estos son sistemas autónomos que recurren a acumuladores de la energía producida, esto se debe a que los sistemas solo producen energía durante el día o en horas de sol y la energía acumulada se usa en la noche o días nublados. Para diseñar este tipo de sistemas se debe tener en cuenta las horas que deseamos que sea autónomo nuestro hogar o consumidor. [31]

Los elementos característicos de un sistema aislado son:

- ✓ Inversor: Es el encargado de transformar la corriente DC en AC y distribuirla a la red interna. [31]

- ✓ Regulador: Es el encargado de evitar sobrecargas y descargas profundas de la batería que pudieran producir en ella daños irreversibles. [31]
- ✓ Baterías: Se encargan de almacenar la energía producida por la celda fotovoltaica en corriente DC. [31]
- ✓ Generador fotovoltaico: formado por los módulos interconectados eléctricamente y por la estructura de soporte. [31]

Algunas de las mejores marcas de paneles solares son las que se adjuntan en la Tabla 1:

Tabla 1. Principales fabricantes de paneles solares. Fuente. [34]

Ranking	Fabricantes
1	LG
2	SUNPOWER
3	WINAICO
4	REC
5	TRINA SOLAR
6	HANWHA CELLS Q
7	JINKO SOLAR
8	CANADIAN SOLAR
9	SERAPHIN
10	JA SOLAR

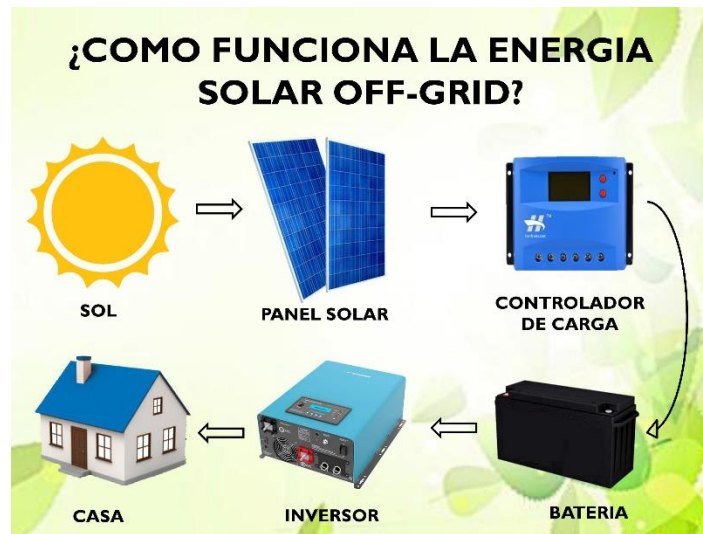


Figura 17. Componentes sistema fotovoltaico off-Grid. Fuente. [35]

5.3 SEGUIDORES SOLARES

Los seguidores solares son mecanismos capaces de mover los paneles con respecto al movimiento de la tierra para aprovechar de forma óptima los rayos del sol, siguiendo al sol desde el oriente hasta el occidente [36]. Existen varios tipos de seguidores solares como lo son los siguientes:

- Seguidores guiados manualmente: Estos pueden ser de un eje o dos ejes el cambio de la posición del panel depende de un operador que lo realice manualmente [36]
- Seguidores de un solo eje: Estos siguen el sol en un solo arco de movimiento ya sea en la inclinación del panel o en el azimut del panel. [36]

Los tipos de seguidores de un solo eje son:

- ✓ Un solo eje horizontal: La superficie gira en un eje horizontal siguiendo el movimiento del sol durante las diferentes horas del día.
- ✓ Un solo eje vertical: gira alrededor de un eje vertical cambiando de posición en diferentes épocas del año.
- ✓ *seguidor solar de un eje polar*: Esta gira sobre un eje inclinado para así tener mayor perpendicularidad con los rayos solares.
- ✓ *seguidor solar de un eje azimutal*: En este el giro se realiza alrededor de un eje vertical esto para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local del Sol teniendo una velocidad de giro variable al largo del día.
- Seguidores de dos ejes: Tienen dos grados de libertad capaz de realizar un seguimiento más preciso cambiando la inclinación y el azimut del panel. [36]
 - ✓ Según la luminosidad: Este seguidor se basa en la señal entregada por sensores, dependiendo de esta señal se envía un comando de control a unos motores para que se posicionen en el punto de luminosidad adecuado [37].
 - ✓ Con programación astronómica: En este caso el seguidor depende de una serie de ecuaciones que predicen la ubicación del sol en cualquier momento. [37].

Localizaciones	Fijo (inclinación = lat.)	HSAT	VSAT	AADAT
Boston, MA	428	520	559	603
Anchorage, AK	258	310	371	380
Miami, Florida	507	654	617	711
San Juan, PR	523	694	617	738

Figura 18. Comparación sistemas con respecto a la latitud. Fuente. [38]

Según se puede observar en la Fig.18 los sistemas HSAT es decir los seguidores de un eje horizontal tienen producción de energía similares a los de 2 ejes en latitudes bajas, por lo cual es una buena opción ya que es más económico con respecto al AADAT o seguidor solar de dos ejes. Las ventajas y desventajas del seguidor de uno y dos ejes se pueden ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y desventajas seguidor solar de uno y dos ejes. Fuente. [36].

Ventajas	
UN EJE <ul style="list-style-type: none"> ✓ Representa un menor costo. ✓ Simplicidad. ✓ Posibilidad de adaptación a cubiertas. 	DOS EJES <ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento solar más preciso. • Incremento de la producción en torno al 35% con respecto a un panel fijo. • Generalmente dificultan el robo de paneles.
Desventajas	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguimiento solar impreciso. ✓ Menos energía captada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representa un mayor costo.

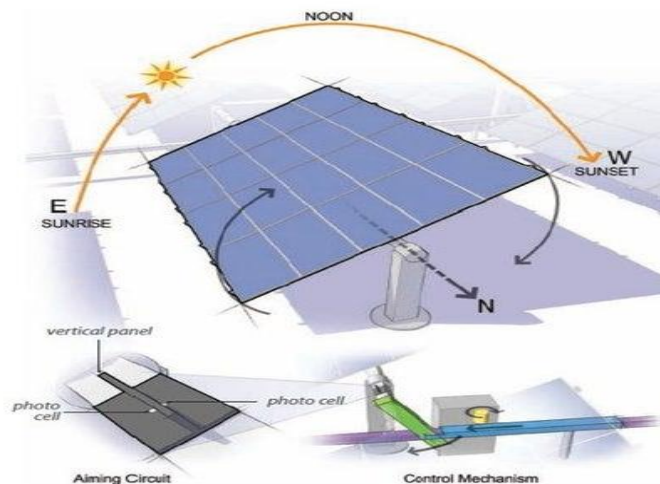


Figura 19. seguidor solar de un eje. Fuente. [39]

5.4 ARDUINO

Arduino (Fig.20) es un proyecto de código abierto, lo cual lo hace económica y accesible, cuenta con varios hardware para comercializar y a muy bajo precio. Sus productos constan de una sistema microcontrolador el cual es programable desde cualquier computador mediante un cable USB, los programas son guardados en su memoria dando independencia de la computadora, esta tiene una forma de tarjeta y puede ser ejecutada acompañada de otros componentes como sensores o botones ya que cuenta con un conjunto de entradas y salidas que la convierten en un excelente y económico controlador. [40] [41]

Arduino Uno: Es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P, tiene 14 pines de entrada y salida digital (6 con salida PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación. Este es un microcontrolador muy económico y apto para muchas tareas. [42]



Figura 20. Tarjeta Arduino uno. Fuente. [41]

5.5 SISTEMA DE POTENCIA

Para hacer el seguimiento se pueden usar varias opciones como motores paso a paso o motorreductores.

5.5.1 Motores paso a paso

Su funcionamiento es similar a un motor convencional ya que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de un fenómeno electromagnético, pero a diferencia de los motores convencionales no posee escobillas y puede dividir una rotación completa en un número de pasos como se observa en la Fig.21. [43]

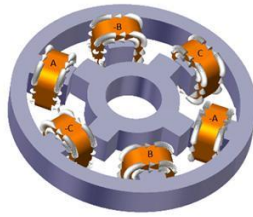


Figura 21. Interior motor paso a paso. Fuente. [44]

Los tres principales tipos de motores paso a paso son:

- ✓ Imán permanente paso a paso
- ✓ Paso a paso síncrono híbrido
- ✓ Reluctancia variable paso a paso [43]

5.5.2 Motorreductores

Es un reductor de velocidad con un motor directamente conectado, no utiliza un adaptador campana para montar el motor, el motor es de hecho parte del reductor de velocidad. Una primera ventaja del motorreductor comparado con otra combinación motor y reductor es la longitud. Moto reductores son compactos en tamaño. [45]

Los motorreductores están disponibles en un amplio rango de potencias y relaciones de reducción. La sección del reductor de velocidad de un motorreductor está disponible con diferentes flechas y configuraciones de engranes. Los Motorreductores están disponibles con motores de C.A., motores de C.D., con frenos o modificaciones especiales. [45]



Figura 22. Motorreductor DC con freno. Fuente. [46]

5.5.3 Actuador lineal



Figura 23. Actuador lineal. Fuente. [47]

Un actuador lineal eléctrico es un sistema el cual permite realizar movimientos lineales por medio de un motor eléctrico transformado el movimiento rotacional en movimiento lineal a través de una caja reductora, esto se puede observar en la Fig.23. Estos actuadores tienen grandes rangos de fuerza, además al ser eléctricos no se necesita disponer de un compresor o bomba para alimentarlos. [48]

6 METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos de este proyecto se deben realizar una serie de tareas las cuales se muestran de forma muy general en la Fig.24.

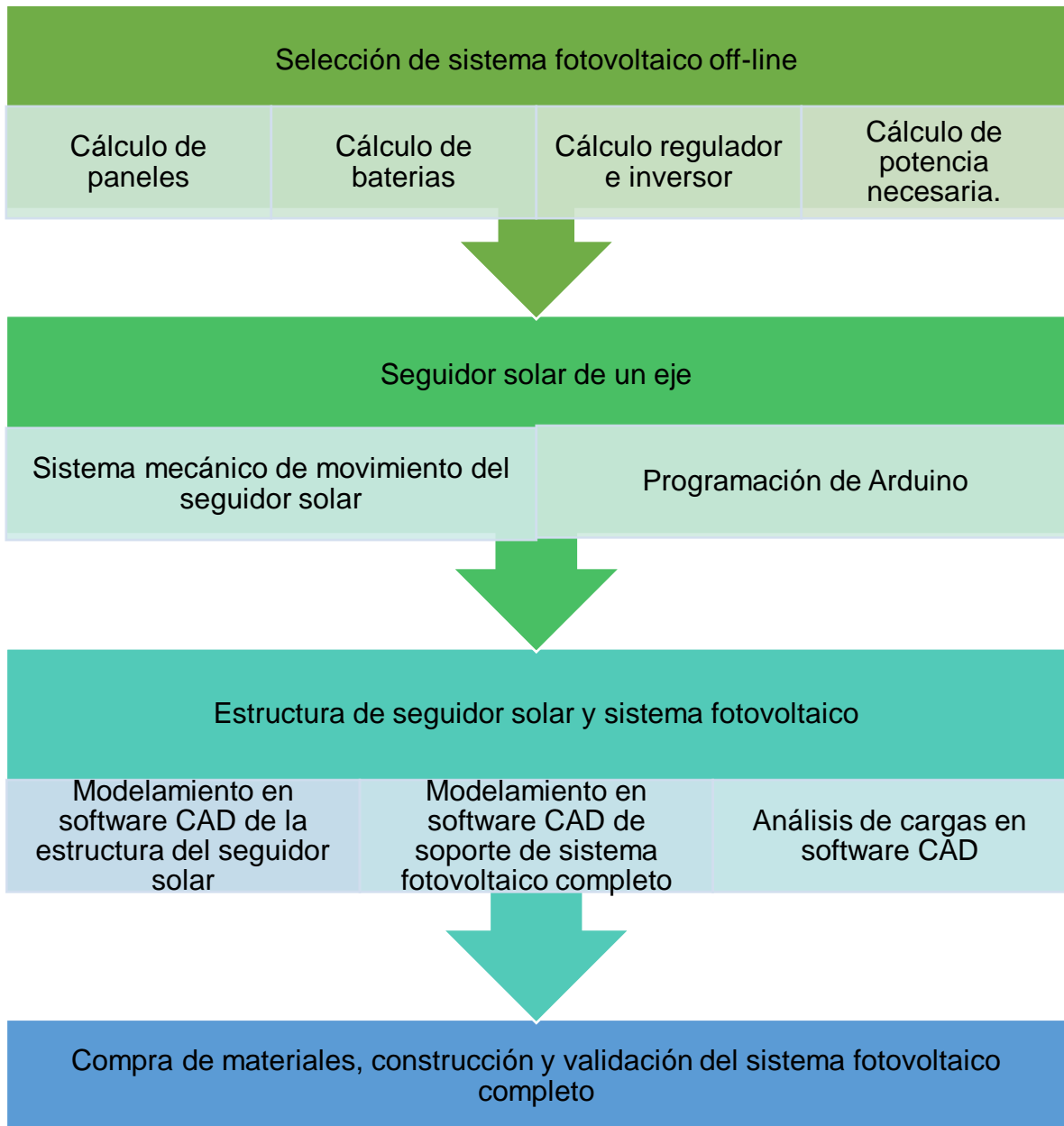


Figura 24. Tabla de protocolo. Fuente autor

A continuación, se enumera la metodología descrita en la Fig.24 de una manera más específica.

6.1 SELECCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-LINE

Para poder seleccionar el sistema fotovoltaico se deben seguir los siguientes pasos:

6.1.1 Cálculo de potencia requerida

Lo primero que se debe tener en cuenta para realizar el diseño del sistema off-line es el cálculo de la demanda energética de todo el sistema, el cual debe ser autosuficiente y además tener una autonomía de por lo menos 24 horas.

Tabla 3. Valores aproximados calculados inicialmente para hacer presupuesto. Fuente autor

Dispositivo	Consumo (W)	Horas al día de uso	Cantidad de dispositivos	Consumo total por día (Wh/día)
Celular	8	10	6	480
Sistema de potencia	5	0,5	1	2,5
Sistema de potencia	4,6	11	1	50,6
Arduino	0,6 [49]	12	1	7,2
				540,3wh/día

6.1.2 Cálculo de cantidad de paneles

Después de tener el consumo energético que se requerirá en el sistema, se debe calcular el número de paneles solares necesarios. Esto se hará usando la Ec. (1)

$$N = \frac{\text{consumo} * 1.2}{\text{capacidad}_{\text{panel}} * \text{HSP} * \text{factor de rendimiento}} \quad (1)$$

Donde *consumo* es la potencia que requiere el sistema calculada en el paso anterior; 1.2 es un factor de seguridad ó sobredimensionado del sistema; *capacidad panel* es la potencia que da el panel que se tiene contemplado comprar; *HSP* son las horas solar pico que dependen de la latitud y longitud del lugar de la instalación, este valor se puede obtener de la página oficial del IDEAM y por último el *factor de rendimiento* el cual contempla las pérdidas de los componentes del sistema solar fotovoltaico (para instalaciones off-line este valor esta entre 65% a 75%).

6.1.3 Cálculo baterías

Para realizar el cálculo de capacidad de la batería, es necesario saber la potencia de todo el sistema de esa forma usando los valores de la Tabla 4, se podrá saber cual debe ser la tensión de trabajo de la batería. Luego de escoger la tensión de trabajo se usarán las Ec. (2) y (3)

Tabla 4. Selección tensión batería. Fuente. Fuente. [50]

Potencia demandada por las cargas (W)	Tensión de Trabajo (V)
Menor de 1.500	12
1.500 - 5.000	24-48
Mayor de 5.000	120-300

$$\frac{Wh}{\text{dia}} = \frac{\text{consumo} * \text{dias de autonomia}}{Pd} \quad (2)$$

$$\frac{Ah}{\text{dia}} = \frac{Wh/\text{dia}}{\text{Tension bateria}} \quad (3)$$

Donde, *consumo* es el mismo contemplado en la Ec. (1), *días de autonomía* son aquellos en los que se quiere tener energía sin necesidad de que el panel la proporcione y *Pd* es la profundidad de descarga de la batería.

6.1.4 Cálculo regulador e inversor

Para realizar el cálculo de regulador se uso la Ec. (4) la cual da la corriente máxima del regulador.

$$I_{in}=1.25*I_{panel}*paneles\ en\ paralelo \quad (4)$$

,

Donde *I panel* es la corriente en corto circuito del panel y *paneles en paralelo* es la cantidad de paneles en paralelo que tiene el sistema. El valor *1.25* es un factor de corrección.

Para determinar que inversor utilizar, se usará la Ec. (5) la cual brinda la potencia del inversor.

$$P_{inversor}=1.25*\sum\ consumidores \quad (5)$$

donde *1.25* es un factor de corrección y $\sum\ consumidores$ es la suma de la potencia que puede ser usada al mismo tiempo.

6.2 SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE

Este seguidor solar de un eje va a ser accionado por un sistema de potencia el cual va a ser controlado por una tarjeta Arduino, que le permitirá cambiar de posición cada cierto tiempo para hacer un seguimiento del sol y aumentar la potencia recibida del sistema fotovoltaico. Para llevar a cabo este seguidor solar se deben seguir los siguientes pasos:

6.2.1 Sistema mecánico de movimiento del seguidor solar y Sistema de potencia

Para construir el seguidor solar el panel debe constar de una estructura la cual le permita moverse en los ángulos necesarios con el fin de realizar el seguimiento del sol, para esto, se hará una adaptación o configuración de un sistema de movimiento el cual se tomará de diseños de estructuras con propósitos similares.

6.2.1.1 Sistema de potencia

El sistema de potencia es una pieza fundamental en el sistema de seguidor solar ya que es el que le permitirá al panel seguir el movimiento del sol. Para poder seleccionar el actuador adecuado se debe tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ Fuerza requerida o capacidad
- ✓ Costo
- ✓ Sistemas mecánicos externos
- ✓ Consumo energético
- ✓ Programable con Arduino

6.2.2 Selección de controlador Arduino

Otra ficha clave en el sistema de seguimiento solar es el sistema de control, en este caso será llevado a cabo por un controlador Arduino el cual con bajo consumo energético y bajo costo presta los requerimientos necesarios para dicha tarea.

La selección del Arduino será realizada teniendo en cuenta lo robusto de la programación, el voltaje de entrada y el número de entradas y salidas necesarias. Se debe realizar una revisión del lenguaje de control del sistema de potencia y del Arduino para verificar la compatibilidad de dichos instrumentos y no presentar inconvenientes en el proceso de programación.

6.2.3 Programación Arduino

Por último, se hará la programación del Arduino a partir del lenguaje encontrado en el sitio web del fabricante, utilizando como ayuda los cursos gratis ofrecidos por el mismo. Se debe asegurar que dicha línea de programación cumpla con controlar el actuador de tal manera que este logre mover el panel, asegurando que siga la trayectoria del sol dentro de las horas establecidas.

6.3 ESTRUCTURA DE SEGUIDOR SOLAR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO

6.3.1 Modelamiento en software CAD de la estructura del seguidor solar

Se hicieron los planos 3D del sistema seleccionado en el punto 6.2.1 en SolidWorks y luego se hará análisis de cargas en el software CAD además de verificar que realice el movimiento que se desea obtener con dicho sistema.

6.3.2 Modelamiento en software CAD de soporte de sistema fotovoltaico completo.

El sistema fotovoltaico completo incluyendo sistema de seguidor solar, será soportado por una estructura visualmente llamativa la cual será el centro de atracción para que las personas carguen sus dispositivos en ese punto. Esta estructura llevara en su interior una gaveta con baterías, regulador, inversor y Arduino, también soportara en la parte superior el peso del panel y el sistema que lo movilizara. Los planos y el análisis estático se realizarán en SolidWorks para obtener fiabilidad antes de la construcción.

6.4 COMPRA, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

6.4.1 Compra

Para poder realizar el montaje del sistema fotovoltaico con seguidor solar de un eje se deben realizar las compras de los equipos y materiales necesarios, estos materiales ya se han seleccionado anteriormente y se realizara la compra en los lugares cotizados.

6.4.2 Construcción de la estructura que soportará todo el sistema fotovoltaico y el sistema de seguidor solar.

Para esto se llevarán los materiales comprados al lugar de construcción, allí se hará uso de las herramientas como son:

- ✓ Pulidora
- ✓ Taladro
- ✓ Soldadora MIG/MAG
- ✓ Destornillador
- ✓ Llaves inglesas

6.4.3 Construcción del seguidor solar

Para continuar se hará la estructura que soportara el seguidor solar y el panel donde se situaran las personas. Esta estructura se hará en acero y se pintará con un revestimiento para que resista las condiciones ambientales en un lugar abierto.

Se unirán los 2 montajes y se procederá al siguiente paso.

6.4.4 Montaje de instrumentos del sistema fotovoltaico.

- ✓ Primero se montará el panel en el sistema de seguimiento
- ✓ Se realizarán las conexiones necesarias con batería, regulador e inversor, que serán puestos anteriormente en el gabinete.
- ✓ Se conectará y energizará el Arduino y se conecta con el motor.
- ✓ Se da inicio al programa para hacer revisión del funcionamiento.
- ✓ Se realizan pruebas.
- ✓ Se posiciona en el lugar donde permanecerá.

7 ANÁLISIS Y RESULTADOS

7.1 SELECCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-LINE

7.1.1 Consumo sistema fotovoltaico y selección de sistema de potencia

Para iniciar la selección del sistema fotovoltaico se necesitan los consumos que se tendrán en el sistema en este caso serían: los 6 celulares y bombillos LED para climatización de la estación, además de lo anterior para que sea autosuficiente, el sistema de seguidor se debe alimentar por medio del panel solar por lo cual se tendrá en cuenta un sistema de potencia y el controlador Arduino.

Para iniciar se debe seleccionar el sistema de potencia el cual está entre un motor paso a paso, motorreductor y actuador lineal para esto se tendrá en cuenta las ventajas y desventajas de dichos sistemas frente a consumo energético, sistemas mecánicos externos, costo y capacidad. Estas características se evaluarán por medio de puntuación.

En la Tabla 5 se puede observar la calificación de cada sistema evaluada por los estudiantes a cargo Sebastián Pérez(SP) y Luis Daza(LD) de acuerdo a diferentes parámetros de calidad. Como conclusión de este procedimiento, se escogió el actuador lineal debido a la alta calificación obtenida, una de sus ventajas es la gran capacidad de carga que presenta a un bajo costo, en este caso en particular presenta una capacidad de 1500 N a un costo de 65.46 USD al contrario del motorreductor que presenta bajas cargas a un alto costo, además de esto el actuador lineal no precisa de un sistema de frenado externo al contrario del motor paso a paso el cual necesitaría un sistema de frenado para detener su consumo eléctrico. El consumo eléctrico en cada uno de estos sistemas de potencia es diferente, en motor paso a paso el consumo es alto y sería por un tiempo prolongado debido a que no tiene sistema de frenado, en los motorreductores varía entre 20 y 60 watts y es en corto tiempo, pero el actuador lineal tiene un consumo extremadamente bajo y su tiempo de encendido es bajo debido a su bloqueo interno, el consumo está entre los 12 y 30 watts.

Tabla 5. Tabla comparativa de sistemas de potencia. Fuente Autor

	Capacidad (30%)			Costo (20%)			Sistemas mecánicos externos (20%)			Consumo energético (30%)			Total
	S P	L D	Total	S P	L D	Total	S P	L D	Total	S P	L D	Total	
Motor paso a paso	4	3	3,5(1,05)	4	2	3(0,6)	1	2	1,5(0,3)	1	1	1(0,3)	2,25
Motorreductor	4	4	4(1,2)	2	2	2(0,4)	4	3	3,5(0,7)	4	5	4,5(1,35)	3,65
Actuador lineal	5	4	4,5(1,35)	4	5	4,5(0,9)	5	5	5(1)	5	4	4,5(1,35)	4,6

Ya con el sistema de potencia escogido, en la Tabla 6 se muestran el consumo completo del sistema autónomo de carga de celulares. En este caso se tienen en cuenta que el sistema está compuesto por 6 puertos de carga para celulares, LED y el consumo de energía del sistema de seguimiento (sistema de potencia y controlador).

Tabla 6. Tabla de consumos del sistema fotovoltaico. Fuente Autor

Dispositivo	Consumo (W)	Horas al día de uso	Cantidad de dispositivos	Consumo total por día (Wh/día)
Celular	8	10	6	480
Actuador lineal	20	0.5	1	10
Arduino	0,6 [28]	24	1	14.4
Luces led	1.5	3.5	6	31.5
Ventiladores	1.2	9	4	43.2
				579.1wh/día

7.1.2 Cantidad de paneles

Usando el valor obtenido en la Tabla 6, ahora es necesario calcular el HSP para las coordenadas de la UPB seccional Bucaramanga. Para esto, se busca en la página del IDEAM donde se obtiene un valor entre 3.5 a 4.0 KWh/m² (Fig. 25).

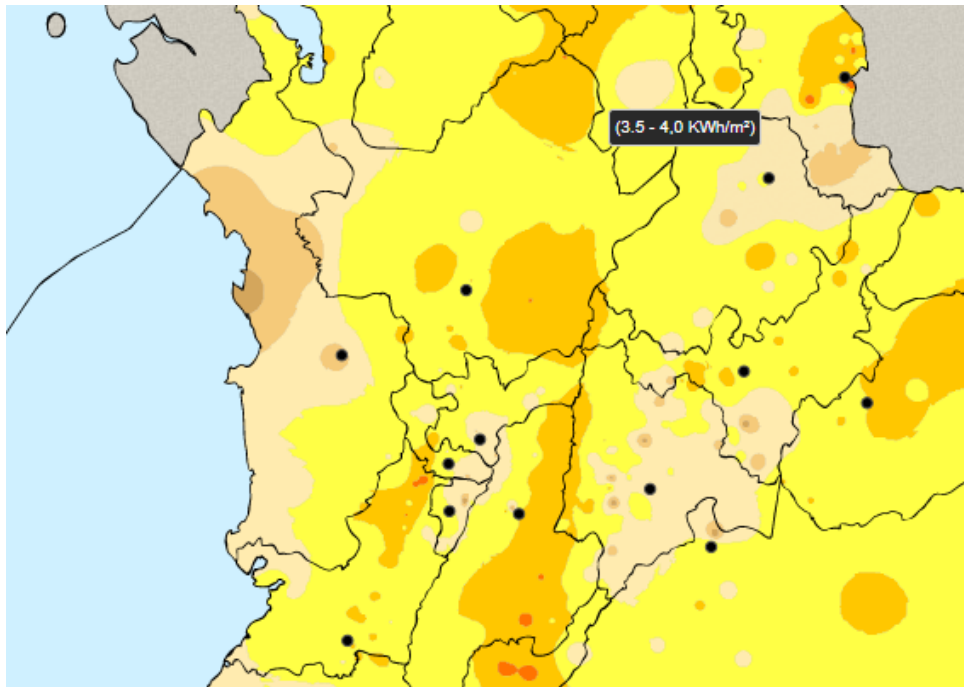


Figura 25. Horas solares pico en Bucaramanga. Fuente. IDEAM

Para establecer la cantidad de paneles que se usaran se debe aplicar la Ec. 1

$$N = \frac{579.1 * 1.2}{290 * 3.75 * 0.7} = 0.913 \approx 1 \text{ panel de 290 watts}$$

El sistema necesitara de un panel de 290 W de potencia el cual brindara la energía necesaria para la carga de los celulares además de hacer autosuficiente el sistema de seguimiento solar debido a su costo, en este caso se escogió un panel solar policristalino.

7.1.3 Capacidad de la batería o baterías

Otro implemento necesario en este sistema son las baterías. Para realizar el cálculo de capacidad de la batería, se debe tener en cuenta que el sistema se diseña para tener 24 horas de autonomía (en caso de días nublados), además una profundidad de descarga de 70%, un consumo de 579.1 Wh/día (Tabla 6) y basado en este último valor se obtiene de la Tabla 4, que la tensión de trabajo de la batería es de 12 V. Usando la Ec. (2) y Ec. (3) se obtiene:

$$\frac{Wh}{dia} = \frac{579.1 * 1}{0.5} = 1158.2 \text{ Watts}$$

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{1158.2}{12} = 96.52 \cong 100Ah$$

Nuestros resultados indican que se necesita una batería de 12 V y 100Ah para el sistema. Debido a su poco mantenimiento se escogió una batería estacionaria de gel C10.

7.1.4 Capacidad reguladora

fue necesario comprar es un controlador el cual se encarga de cargar la batería y distribuir la energía restante del sistema a los puertos de carga, para saber que controlador se debe comprar se usó Ec. 4.

ELECTRICAL PROPERTIES | STC*

Module Type	ZXP6-LD60 -255/P	ZXP6-LD60 -260/P	ZXP6-LD60 -265/P	ZXP6-LD60 -270/P	ZXP6-LD60 -275/P	ZXP6-LD60 -280/P	ZXP6-LD60 -285/P	ZXP6-LD60 -290/P
Nominal Power Watt Pmax(W)	255	260	265	270	275	280	285	290
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	30.4	30.6	30.8	31.0	31.2	31.4	31.6	31.8
Maximum Power Current Imp(A)	8.39	8.50	8.61	8.71	8.82	8.92	9.02	9.12
Open Circuit Voltage Voc(V)	38.0	38.2	38.4	38.6	38.8	39.0	39.2	39.4
Short Circuit Current Ioc(A)	8.79	8.88	8.98	9.07	9.16	9.25	9.34	9.42
Module Efficiency (%)	15.50	15.81	16.11	16.42	16.72	17.02	17.33	17.63

Figura 26. Ficha eléctrica panel 290 W ZSHINESOLAR. Fuente autor

$$I_n = 1.25 \times 9.42 \times 1 = 11.775A \cong 12A$$

Los resultados indican que se necesita un controlador con un mínimo de 12 Amperios. La corriente del panel usada en esta ecuación fue la dada por el fabricante para el panel de 290 Wh/m² (Fig. 26)..

7.1.5 Inversor

En este caso particular, no es necesario utilizar un inversor pues el sistema fotovoltaico proporciona corriente continua, los equipos que se manejan y que serán alimentados por el sistema fotovoltaico solo requieren corriente continua por lo que se considera redundante e innecesario el uso de un inversor a corriente alterna.

7.2 SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE SISTEMA DE SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE

El tipo de seguidor que se diseñará será de un solo eje por dos importantes razones. Primero, al encontrarnos en una latitud baja, la potencia captada del seguidor, como se puede apreciar en la Fig. 18, presenta potencias similares al de un seguidor de dos o tres ejes y, por último, teniendo en cuenta dichas potencias, resulta más económico fabricar un seguidor solar de un solo eje.

7.2.1 Selección sistema de potencia

La selección del sistema de potencia se realizó en el numeral 7.1 debido a que las especificaciones técnicas del sistema eran requeridas para calcular el consumo energético, en dicho numeral se seleccionó un actuador lineal con una carrera de 300 milímetros, impulsado por un motor DC, en el cual es posible controlar el tiempo de energizado y nos permite manipular el recorrido del pistón. Este sistema de potencia nos permite diseñar un sistema similar al del brazo de una máquina excavadora para proporcionar movimiento al panel (Fig.27).



Figura 27. Excavadora grande. Fuente [51]

7.2.2 Selección de controlador ARDUINO

La tecnología Arduino consta de una gran variedad de tarjetas controladoras las cuales poseen diversas características que las diferencian unas de las otras. En el caso particular del sistema en cuestión, los principales criterios de selección para el controlador son los puertos digitales, costo y consumo. A continuación, se mostrarán algunos controladores Arduino y se hará una comparación de sus características.

Tabla 7. Características de algunos controladores Arduino. Fuente Autor.

Controlador	Costo	Consumo	Puertos digitales	SRAM	Velocidad de reloj	Memoria Flash
Arduino uno	22 USD	0.6 W	14	2KB	16 MHz	32KB
Arduino nano	31,50 USD	0.3 W	14	256KB	64MHz	1MB
Arduino Leonardo	19,8 USD	1 W	20	2.5 KB	512 KB	32 KB
Arduino Due	38,5 USD	9,6 W	54	96 KB	84 MHz	512 KB

Todos los controladores Arduino anteriormente mencionados en la Tabla 7. cumplen los requerimientos necesarios para la aplicación, sin embargo, se selecciona el Arduino uno (Fig.28) a pesar de que el costo real no es el menor, pero debido a los precios del mercado colombiano se puede encontrar a un precio más accesible, su consumo energético con respecto al costo es más bajo, y como solamente se requieren 3 puertos digitales para controlar el actuador lineal, la cantidad de puertos digitales es la adecuada para la tarea requerida. Otro factor a tener en cuenta es la memoria flash la cual tiene la capacidad de almacenar el programa que se realizara, estos 32KB equivalen a aproximadamente 32 mil palabras, a través de la página Arduino se realizó el programa dando un total de 2268 bytes lo cual determinó que el Arduino uno es capaz de soportar dicho programa. La SRAM es la memoria que hace lectura del programa esto quiere decir que va a leer las 2268 palabras, esto no quiere decir que las va a leer y ejecutar todas al mismo tiempo, simplemente ejecutara algunas líneas de programación que se deban ejecutar en su momento el Arduino uno tiene la capacidad de leer 2KB de líneas de programación lo que nuevamente lo hace apto para la aplicación. La velocidad de reloj, la cual determina la velocidad de trabajo, es de 16MHz y equivale a aproximadamente 1 ciclo de reloj cada 62,5 nanosegundos que nos brinda una precisión suficiente para la tarea requerida.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Figura 28. Ficha técnica Arduino uno R3. Fuente [42]

7.2.2.1 Driver

Para poder enviar la programación hasta el sistema de potencia, es necesario utilizar un driver, el cual es el encargado de traducir las líneas de programación en la señal que ira hasta el motor DC del actuador lineal seleccionado, para esta tarea es requerido un driver tipo puente H, que sea compatible con Arduino y con motores DC a 12V, razón por la cual se selecciona el L298N.

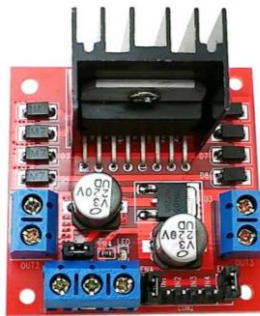


Figura 29. Driver motor DC L298N. [52]

7.2.3 Programación Arduino

La programación del controlador Arduino uno se llevará a cabo por medio del programa de libre acceso proporcionado por la página ARDUINO el cual está basado en un lenguaje de programación C++.

Para realizar dicha programación es necesario determinar ciertos parámetros, la única variable que podemos manipular en el actuador lineal es la longitud del vástago, el cual se mueve a una velocidad de 5,7 mm/s y con base a un estudio de observación se pudo evidenciar que el lugar donde más radiación solar puede ser captada a lo largo del día en el campus de la universidad se encuentra en la plazoleta del edificio J, además de esto es el lugar donde hay un mayor flujo de personas, donde la incidencia de los rayos del sol empieza a alrededor de las 9 de la mañana de manera continua hasta las 4 de la tarde como se puede observar en las Figuras 30 y 31, para un total aproximado de 6 horas de luz. Debido a esta situación es necesario que el recorrido de nuestro seguidor inicie con un ángulo de 45° con respecto a la perpendicular de la horizontal apuntando hacia el este y que el mismo aumente 5° cada 20 minutos para un total de 15° por hora hasta alcanzar 135° a las 3 de la tarde, donde se detendrá mirando hacia la puesta del sol durante 3 horas para luego regresar a la posición inicial y reiniciar el proceso. Se decide dejar estas horas ya que el lugar designado por la universidad recibe el sol desde las 9am y se empieza a apreciar sobre a las 3 pm como se puede observar en la Fig. 30 y 31.



Figura 30. Plazoleta J 9 am, el sol se empieza a ver. Fuente autor

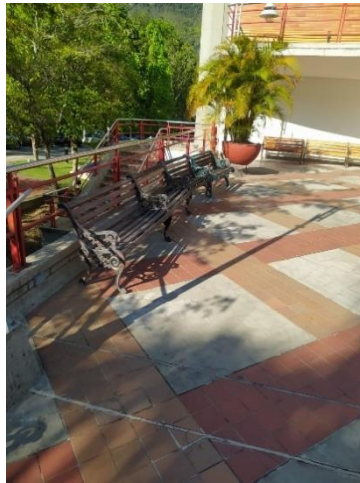


Figura 31. Plazoleta j 3pm. Fuente autor

La ecuación de Excel para hallar los tiempos fue la siguiente:

$$\text{Longitud del actuador} = ((600^2) + (200^2) - (2 * (200) * (600) * \text{COS}(\text{RADIANS}(A2)))) ^ (1/2)$$

Donde A2 es el ángulo del panel con respecto a la horizontal y el tiempo que tarda el vástago en recorrer la distancia requerida para llegar al ángulo esperado se halla dividiendo dicha distancia entre la velocidad de avance del vástago, 5,7mm/s.

Tabla 8. Ángulo, longitud, desplazamiento y tiempo del actuador lineal. Fuente Autor.

Ángulo	Longitud del actuador [mm]	Desplazamiento [mm]	Tiempo [s]	Tiempo [milisegundos]
47	486.1279601	9.584631712	2.337715052	2338
50	495.7125918	16.48039455	4.019608428	4020
55	512.1929864	16.95727585	4.13592094	4136
60	529.1502622	17.26681034	4.211417157	4211
65	546.4170726	17.42259047	4.24941231	4249
70	563.839663	17.43774852	4.253109395	4253
75	581.2774115	17.32465774	4.225526279	4226
80	598.6020693	17.09478935	4.169460817	4169
85	615.6968586	16.75867339	4.087481315	4087
90	632.455532	16.32592444	4.133145427	5133
95	648.7814565	15.80530434	4.00134287	4001
100	664.5867608	15.20480344	3.849317327	3849
105	679.7915642	14.53172817	3.678918524	3679

110	694.3232924	13.79278762	3.448196906	3448
115	708.11608	12.99417505	3.248543762	3249
120	721.1102551	12.14164209	3.035410523	3035
125	733.2518972	11.24056505	2.810141263	2810
130	744.4924622	10.29600315	2.574000789	2574
135	754.7884654	0	0	0

Como resultado de los tiempos dados en la Tabla 8 se realizó el programa que se puede observar en la Fig.33, además en la Fig.32 se pueden observar las entradas y las salidas:

```

int cont=0;
int IN1 = 2; // IN1 salida de bastago
int IN2 = 3; // IN2 entrada de bastago
int ENA = 5; // ENA energizar actuador lineal
int ENB = 9; // ENB energizado Ventiladores bateria
int IN3 = 8; // Control de giro normal
int IN4 = 10; // Control de giro contrario
int PUL = 4; // PULSADOR inicio
int FIN = 7; // FINAL DE CARRERA
int LED = 6; // Luz LED

void setup()
{
  pinMode(PUL, INPUT); // pin 4 como entrada
  pinMode(LED, OUTPUT); // pin 6 como salida LED
  pinMode(IN1, OUTPUT); // pin 2 como salida
  pinMode(IN2, OUTPUT); // pin 3 como salida
  pinMode(ENA, OUTPUT); // pin 5 como salida
  pinMode(FIN, INPUT); // pin 7 como entrada
  pinMode(IN3, OUTPUT); // pin 8 como salida
  pinMode(IN4, OUTPUT); // pin 10 como salida
  pinMode(ENB, OUTPUT); // pin 9 como salida
}

```

Figura 32. Entradas y salidas. Fuente autor

```

void loop() {

if (digitalRead(PUL) == HIGH) // Inicio de programa
{

while(cont<5) {
digitalWrite(ENB, HIGH); //energisa ventiladores en giro normal
digitalWrite(IN3, HIGH);
digitalWrite(IN4, LOW);
//
digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 2.5 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(2574); //

digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos
delay(1197426); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 2.8 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(2810);

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos
delay(1197190); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 3 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(3035);

digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos
delay(1196965); //

digitalWrite(ENA, HIGH); //energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 3.3 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(3249);

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos
delay(1196751); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 3.5 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(3448);

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.94 minutos
delay(1196552);

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 3.6 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(3679);

digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.94 minutos
delay(1196321);

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 3.8 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(3849); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.94 minutos
delay(1196151); //
}
}

```

```

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(4001);

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195999); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 5 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(5133);

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.92 minutos
delay(1194867); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.1 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); // IN1 a 0
digitalWrite(IN2, HIGH); // IN2 a 1
delay(4087); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195913); //

digitalWrite(ENA, HIGH); //energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.2 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4169); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195831); //

digitalWrite(ENA, HIGH); //energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.2 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4226); //

digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195774); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.25 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4253); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195747); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.25 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4249); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195751); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energisa actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.2 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4211); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195789); //

```



```

digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4.1 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4136); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195864); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 4 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(4020); //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
delay(1195980); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago durante 2.4 segundos
digitalWrite(IN1, LOW); //
digitalWrite(IN2, HIGH); //
delay(2338); //
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.96 minutos
delay(10797662); //
{
  if (digitalRead(FIN) == HIGH) // para garantizar que llegue al final debe tocar un final de carrera despues de acabar su ciclo diario
  {
    digitalWrite(ENB, LOW); //desactiva los ventiladores
    digitalWrite(ENA, HIGH); //energiza actuador lineal e inicia la salida del vastago durante para regresar a su posicion inicial
    digitalWrite(IN1, HIGH); //
    digitalWrite(IN2, LOW); //
    delay(85000); //

    digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilita el motor durante la noche y se repite de nuevo el programa
    delay(55115000);
  }
  else //sino toca el final de carrera se garantiza que inicie al dia siguiente en su posicion inicial{
    digitalWrite(ENB, LOW); //desactiva los ventiladores
    digitalWrite(LED, HIGH);
    digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la salida del vastago durante para regresar a su posicion inicial
    digitalWrite(IN1, HIGH); //
    digitalWrite(IN2, LOW); //
    delay(85000); //

    digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilita el motor durante la noche y se repite de nuevo el programa
    delay(55115000);
  }
}
}
}
}
}

```

Figura 33. Código de programación Arduino. Fuente autor

Después de tener el programa mostrado en la Fig.33 es ingresado al Arduino y probado en el actuador lineal.

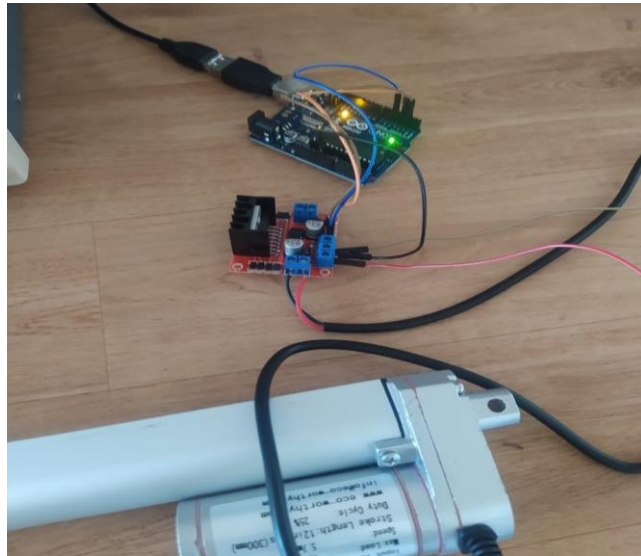


Figura 34. Ingreso de programación al Arduino. Fuente autor

Se deja un esquema de conexiones en caso de querer realizar modificaciones como se puede observar en la Fig.35.

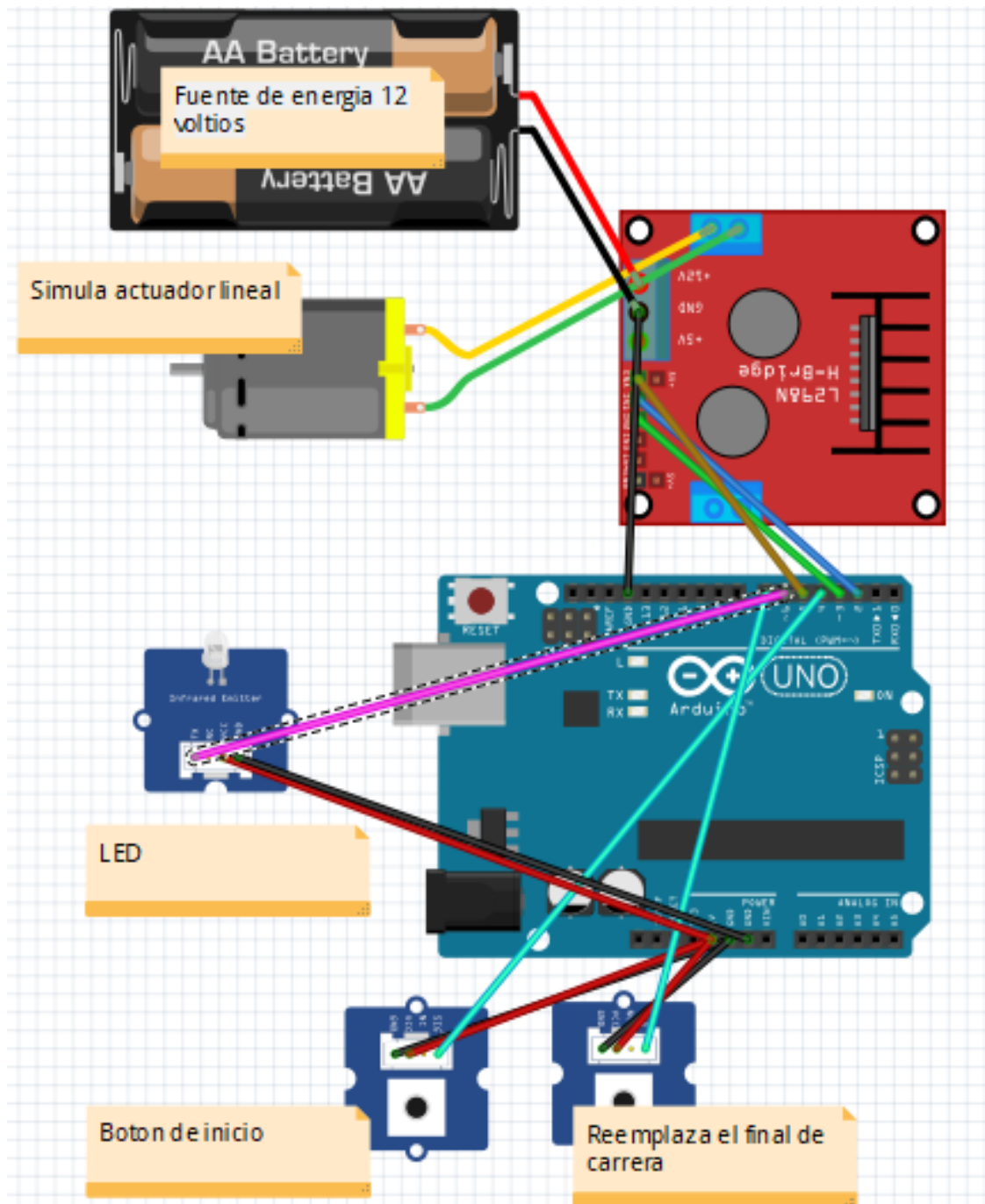


Figura 35. Esquema de conexiones sistema de control. Fuente autor

7.3 ESTRUCTURA DE SEGUIDOR SOLAR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO

7.3.1 Sistema mecánico de seguimiento solar

El sistema mecánico de seguimiento solar consiste en un triángulo donde uno de los lados, el actuador lineal, tiene la posibilidad de variar su longitud, lo que nos permite a su vez variar el ángulo del panel solar, que sería uno de los lados, con respecto a la horizontal y de esta manera realizar el movimiento de seguimiento de la trayectoria del sol desde su salida hasta el anochecer.

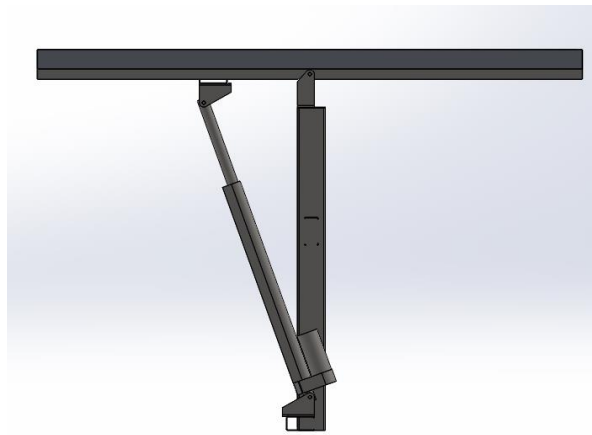


Figura 36. Mecanismo seguidor. Fuente autor.

En la Fig.36 se aprecia la estructura que da soporte al seguidor solar, en esta van montados todos los componentes del mismo, actuador lineal y panel solar sobre los dos apoyos que sirven de pivotes y en la Fig.37 se observa una imagen renderizada del soporte y el sistema de seguidor ensamblados.



Figura 37. Renderizado del soporte y el sistema de seguidor ensamblados. Fuente autor.

7.3.2 Estructura de soporte que contemplando los espacios de la estación de carga y los usuarios.

Para la selección de materiales a utilizar se debió tomar en cuenta las siguientes consideraciones: bajo costo, carga a soportar, resistencia a condiciones de intemperie y posibilidad de cambiar de sitio la estructura fácilmente. Sin embargo, gracias a un familiar, se obtuvieron perfiles rectangulares de acero 1020, el cual es en general un buen material para usarlos en nuestro sistema. Los perfiles serán unidos con soldadura para luego ser recubierto de dos capas de pintura anticorrosiva y así asegurar la durabilidad de la estructura. El techo será construido con una lámina plana de acero galvanizado calibre 20 la cual, por requerimientos de diseño, debe tener un ángulo de inclinación para el no estancamiento de aguas lluvias

Para determinar la carga máxima de la estructura es necesario calcular la fuerza crítica de cada columna, para esto se realizarán los siguientes cálculos:

DCL placa horizontal

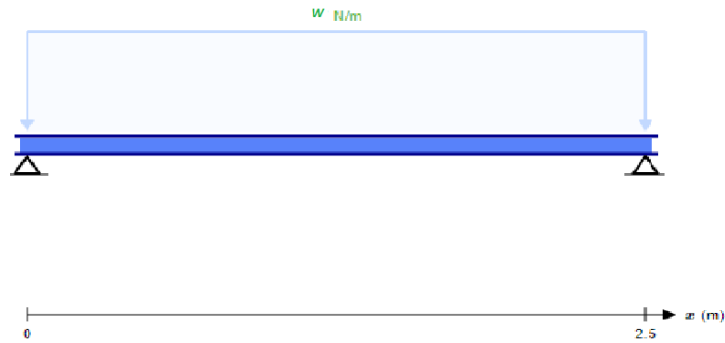


Figura 38. Viga de soporte 2.5 metros carga distribuida. Fuente autor

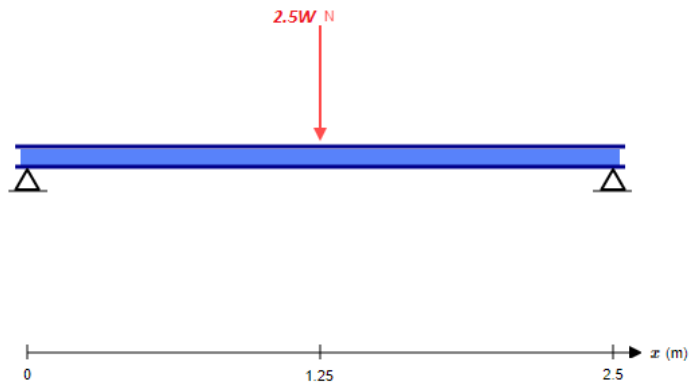


Figura 39. Viga de soporte 2.5 metros carga puntualizada. Fuente autor

Para determinar la capacidad de carga máxima que soportan las columnas traseras de la estructura es necesario realizar una sumatoria de momentos y fuerzas para así despejar todas las variables en términos de la carga W .

Sumatoria de momento:

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ 2,5B_y - 3,125W &= 0 \\ B_y &= 1,25W\end{aligned}$$

Sumatoria de fuerzas:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ A_y + B_y &= W \\ A_y + 1,25W &= 2,5W \\ A_y &= 1,25W\end{aligned}$$

Ahora, para determinar el máximo valor de W , se deben analizar las columnas con las ecuaciones encontradas en el libro diseño elementos de máquinas [53]

Primero se calcula el radio de giro de la columna:

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}(B*H^3 - b*h^3)}{A}} \quad (6)$$

Donde:

r_g es el radio de giro de la columna

I es el momento de inercia, y

A es el área transversal del perfil

$$r_g = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}(0,05 * 0,05^3 - 0,0485 * 0,0485^3)}{2,85 \times 10^{-4}}} = 0,0145m$$

La columna tiene un extremo fijo y otro libre por lo cual

$$L_e = 2 * L \quad (7)$$

Donde:

L_e es la longitud efectiva, y

L es la longitud de la columna, 2 metros

$$L_e = 2 * 2 = 4 \text{ m}$$

$$\frac{L_e}{r_g} = \frac{4}{0,0145} = 275,86$$

Se calcula la razón de esbeltez teórica con la siguiente formula:

$$\left(\frac{L_e}{r_g}\right)_T = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (8)$$

Donde:

E es el modulo elástico, y

S_y es la resistencia ultima a la tensión del material, entonces:

$$\left(\frac{L_e}{r_g}\right)_T = \sqrt{\frac{2\pi^2 * (200 * 10^9)}{250 * 10^6}} = 125,66$$

Para determinar la carga critica (P_{cr}) se utiliza la siguiente ecuación:

$$(P_{cr})_A = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (9)$$

$$(P_{cr})_A = \frac{\pi^2 * (200 * 10^9) * \frac{1}{12} (0,05 * 0,05^3 - 0,0485 * 0,0485^3)}{4^2} = 7370,54N$$

La carga máxima soportada por las columnas puede ser de 7370,54 N, sin embargo para garantizar la seguridad de los usuarios se establece un factor de seguridad (n_s) de 3 para determinar la carga de diseño ($P_{diseño}$):

$$n_s = \frac{P_{cr}}{P_{diseño}} \quad (10)$$

Despejando $P_{diseño}$ tenemos que:

$$P_{diseño} = \frac{P_{cr}}{n_s} = \frac{7370,54}{3} = 2456,86N$$

La carga máxima que se le puede aplicar a la columna es de 2456,86N para un n_s de 3.

Ahora se debe determinar la capacidad de carga máxima que soportan las columnas delanteras de la estructura, es necesario entonces realizar una sumatoria de momentos y fuerzas para así despejar todas las variables en términos de la carga W .

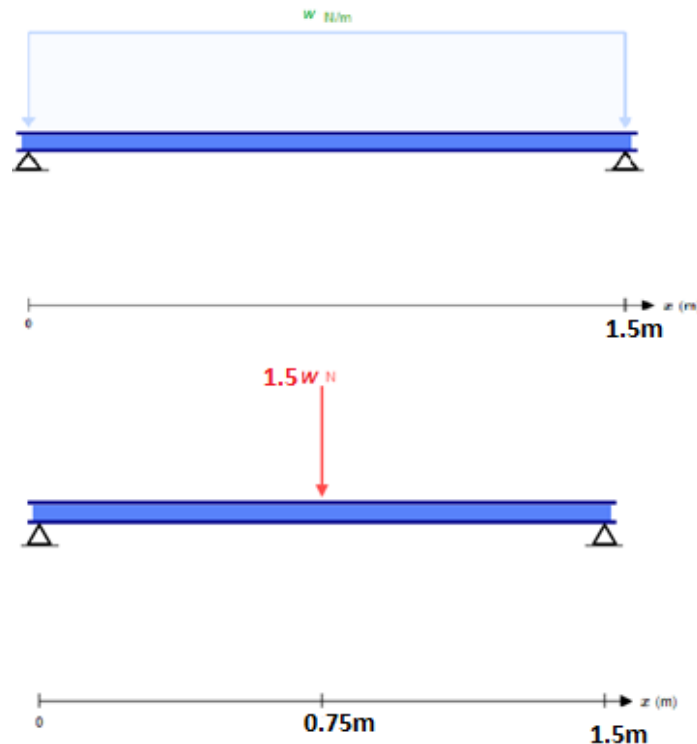


Figura 40. Viga de soporte 1.5 metros carga distribuida y puntualizada. Fuente autor

Sumatoria de momento:

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ 1,5B_y - 1,125W &= 0 \\ B_y &= 0,75W\end{aligned}$$

Sumatoria de fuerzas:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ A_y + B_y &= W \\ A_y + 0,75W &= 1,5W \\ A_y &= 0,75W\end{aligned}$$

Ahora, para determinar el máximo valor de W, se deben analizar las columnas.

Primero se calcula el radio de giro de la columna:

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}(B * H^3 - b * h^3)}{A}}$$

Donde:

r_g es el radio de giro de la columna

I es el momento de inercia, y

A es el área transversal del perfil

$$r_g = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}(0,05 * 0,05^3 - 0,0485 * 0,0485^3)}{2,85 \times 10^{-4}}} = 0,0145m$$

La columna tiene un extremo fijo y otro libre por lo cual:

$$L_e = 2 * L$$

Donde:

L_e es la longitud efectiva, y

L es la longitud de la columna, 2,2 metros

$$L_e = 2 * 2,2 = 4,4 \text{ m}$$

$$\frac{L_e}{r_g} = \frac{4,4}{0,0145} = 303,45$$

Se calcula la razón de esbeltez teórica con la siguiente formula:

$$\left(\frac{L_e}{r_g}\right)_T = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Donde:

E es el modulo elástico, y

S_y es la resistencia ultima a la tensión del material, entonces:

$$\left(\frac{L_e}{r_g}\right)_T = \sqrt{\frac{2\pi^2 * (200 * 10^9)}{250 * 10^6}} = 125,66$$

Para determinar la carga critica (P_{cr}) se utiliza la siguiente ecuación:

$$(P_{cr})_A = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} = \frac{\pi^2 * (200 * 10^9) * \frac{1}{12} (0,05 * 0,05^3 - 0,0485 * 0,0485^3)}{4,4^2} = 6091,35N$$

La carga máxima soportada por las columnas puede ser de 6091,35N, sin embargo, para garantizar la seguridad de los usuarios se establece un factor de seguridad (n_s) de 3 para determinar la carga de diseño ($P_{diseño}$):

$$n_s = \frac{P_{cr}}{P_{diseño}}$$

Despejando $P_{diseño}$ tenemos que:

$$P_{diseño} = \frac{P_{cr}}{n_s} = \frac{6091,35N}{3} = 2030,45N$$

La carga máxima que se le puede aplicar a la columna es de 2030,45N para un n_s de 3.

7.3.2.1 Análisis estático en software CAD

Para el análisis estático en software CAD se utilizó SolidWorks 2018, cuya licencia se encuentra disponible en el campus de la universidad para su uso con fines educativos.

De este análisis se pudieron obtener 4 resultados; desplazamientos resultantes, tensión de von mises, deformación unitaria equivalente y factor de seguridad. En la Figura 41. se puede observar que la deformación máxima de la estructura es de 5,4 mm, pero en la Figura 42. se evidencia que dicha estructura no alcanza valores altos de tensión de von mises, lo cual es un indicador de un buen diseño y que la estructura a pesar de dicho desplazamiento no fallará. La deformación unitaria (Figura 43.) alcanza valores máximos de 4,588e-4 y el factor de seguridad mínimo (Figura 44.) es de 1.626 el cual resulta óptimo para la aplicación de la estructura. Adicionalmente se puede detallar en la Figura 45. Que el factor de seguridad mínimo de la estructura de soporte del seguidor es de 3,11 y en la Figura 46. que el desplazamiento resultante es de tan solo 0,124 mm.

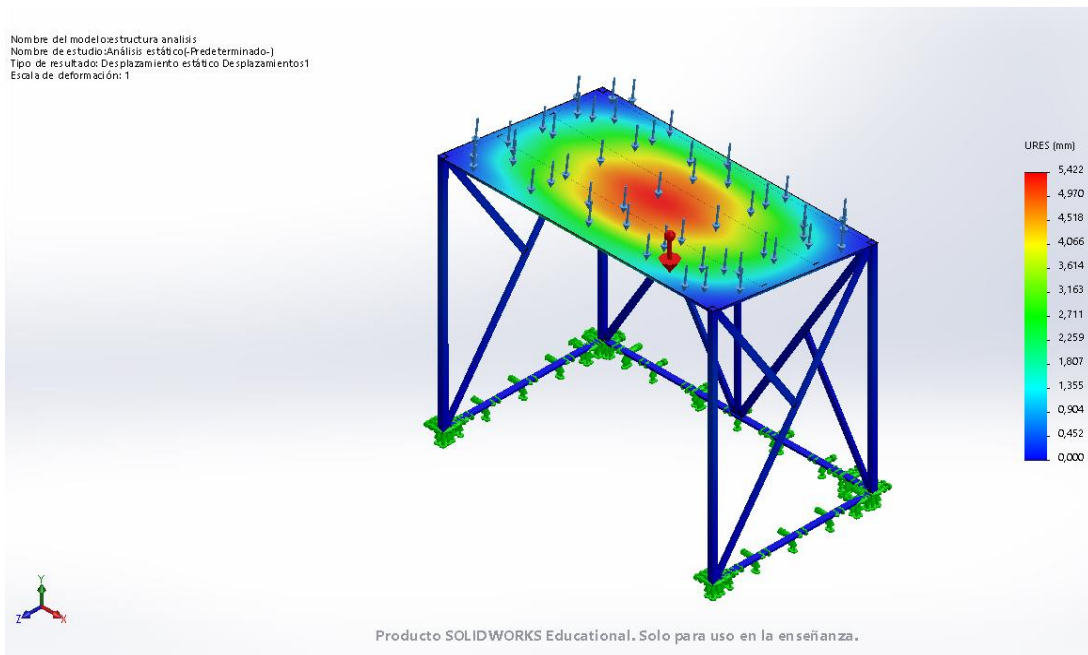


Figura 41. Desplazamientos resultantes. Fuente Autor

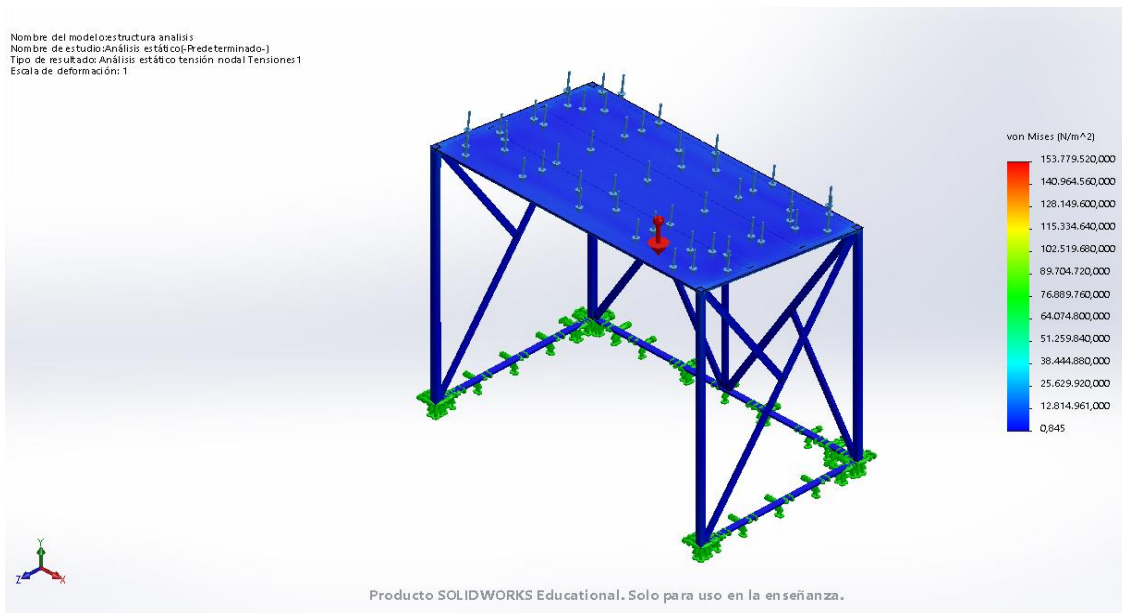


Figura 42. Tensión de von Mises. Fuente Autor.

Nombre del modelo: estructura analisis
Nombre de estudio: Analisis estatico-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 1

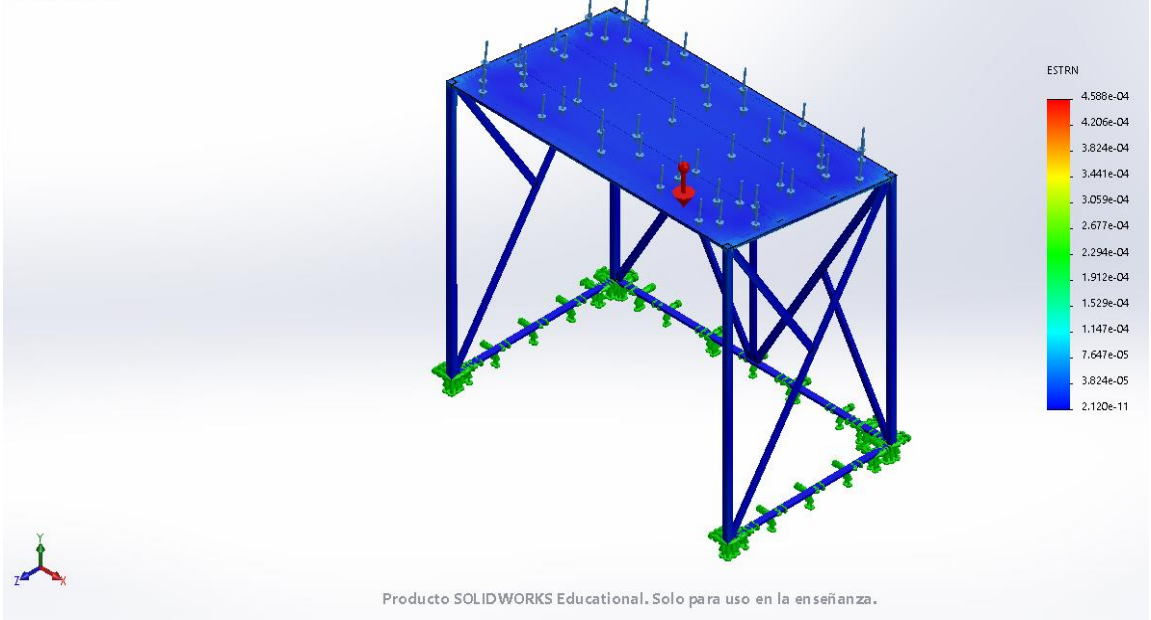


Figura 43. Deformación unitaria. Fuente Autor.

Nombre del modelo: estructura analisis
Nombre de estudio: Analisis estatico-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Orden: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1.6

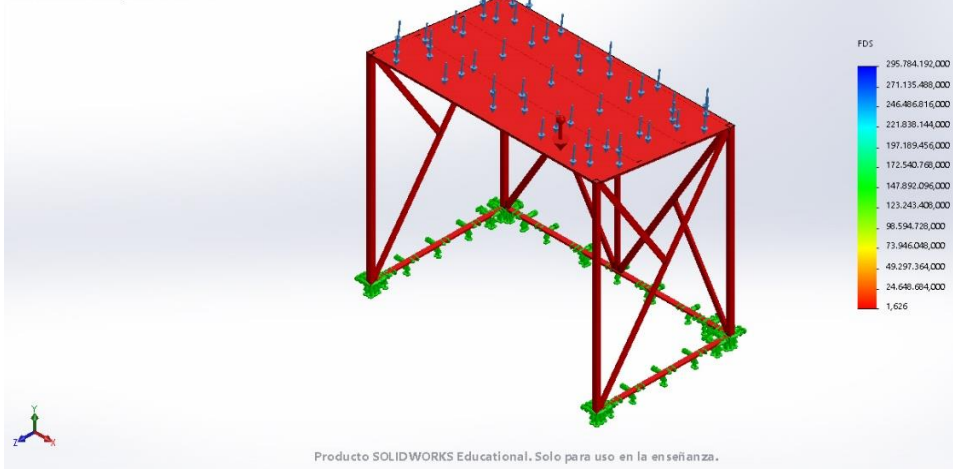


Figura 44. Factor de seguridad. Fuente Autor.

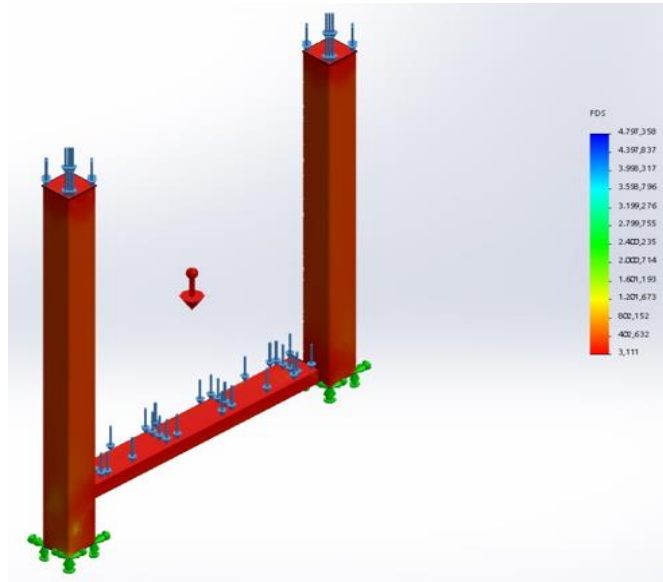


Figura 45. Resultados análisis estático del soporte seguidor. Factor de seguridad. Fuente Autor.

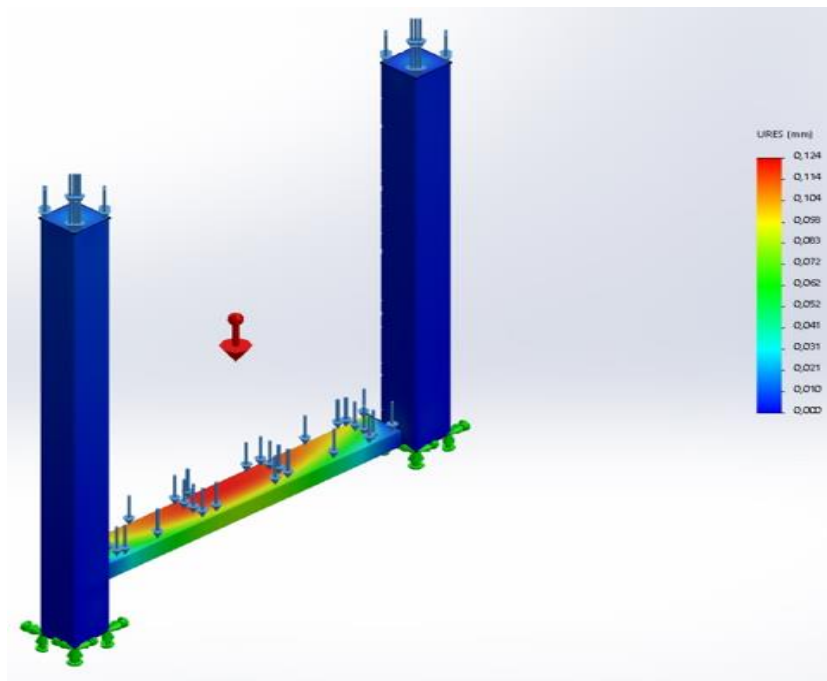


Figura 46. Resultados análisis estático del soporte seguidor. Desplazamientos resultantes. Fuente Autor.

El resultado final es una estructura amplia y llamativa que contempla el espacio necesario para que varias personas puedan estar dentro de él e interactuar entre si como se puede ver en la Figura 40.



Figura 47. Apariencia final de la estructura completa. Fuente Autor.

7.4 COMPRA Y MONTAJE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

7.4.1 Compras

Para realizar el proceso de compra se realizaron los procesos de selección de los productos requeridos en los numerales **7.1**, **7.2** y **7.3**, los productos necesarios para este proyecto son:

- Panel 290 W.
- Controlador mínimo 12^a.
- Batería de mínimo 23 Ah.
- Módulos led para iluminación.
- Componente sistema de carga de celulares.
- Cable para sistema solar y sistema de carga.

- Arduino uno.
- Driver L298N.
- Actuador lineal mínimo 40 libras.
- Tubería metálica para construcción de estructuras.

7.4.1.1 Compra panel, controlador, batería, módulos led.

La cotización del panel y controlador se realizó por medio de Sirius solar, esta es una empresa bumanguesa que maneja todo lo relacionado con sistemas fotovoltaicos a un buen precio. En esta empresa realizaron la cotización de 2 paneles y 2 controladores, los paneles fueron uno de JA solar de 270 watts y otro de ZNShinesolar de 290 watts ambos constaban del mismo precio y su garantía era similar por lo cual se opta por el de mayor capacidad por un mismo precio. Para el controlador ofrece 2 opciones un MPPT y un PWM la diferencia entre ambos es el tipo de señal que maneja el controlador para cargar la batería, a pesar de ser mucho más beneficioso el MPPT ya que es más eficiente, el costo es demasiado elevado por lo cual se opta por el PWM el cual tiene un costo accesible y brinda las funciones necesarias en el sistema.


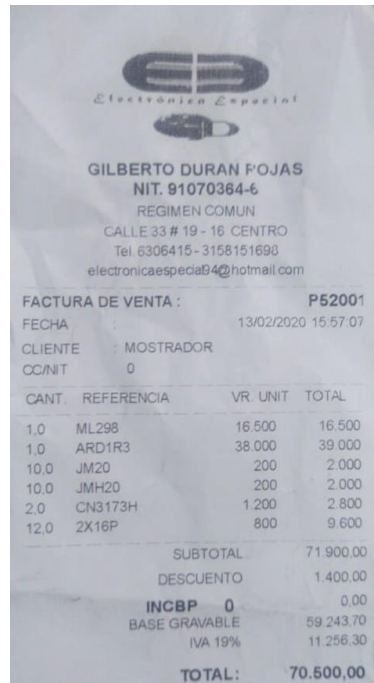
Detalles de Productos																
Nro.	Código	Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Recargo	IMPUESTOS			Valor de Venta por Item					
							IVA	ICA	INC							
1	09330000-1	CONTROLADOR PWM 20A	NIU	1	\$ 80.000			\$ 0			\$ 80.000					
2	09330000-1	PANEL SOLAR 290W POLICRISTALINO	NIU	1	\$ 440.000			\$ 0			\$ 440.000					
3	31500000-1	MÓDULO LED 1.5W 12V	NIU	6	\$ 2.521			\$ 2.873,94			\$ 15.126					
Descuentos y Recargos Globales																
Nro.	Tipo	Código	Descripción				%	Monto								
Datos de Referencia																
Tipo de Documento Referencia				Número Referencia				Fecha Referencia								
Notas Finales																
Datos Totales																
							MONEDA					COP				
							TASA DE CAMBIO									
							Subtotal Precio Unitario (=)					\$ 535.126				
							Descuentos detalle (-)					\$ 0				
							Recargos detalle (+)					\$ 0				
							Subtotal Base gravable (=)					\$ 535.126				
							Total impuesto (+)					\$ 2.873,94				
							Total mas impuesto (=)					\$ 537.999,94				
Descuento Global (-)																
Recargo Global (+)																
Descuento Global (-)																
Valor total de la operación (=)					\$ 537.999,94											
Generado por: Solución Gratuita DIAN Numero de Autorización:18763003926529 Rango Autorizado: Desde 1 Rango Autorizado: Hasta 2000 Vigencia: 2021-08-03																

Figura 48. Factura panel, regulador y módulos led. Fuente autor

7.4.1.2 Compra driver, Arduino uno, Actuador lineal, Componente sistema de carga de celulares, cable para sistema solar y sistema de carga.

Las compras del Arduino uno, el driver L298N y el cable para sistema de carga se realizó en electrónica especial en Bucaramanga ya que ofrecía todos los componentes necesarios a un buen precio, además de brindar la asesoría correspondiente frente a estos dispositivos, además de ofrecer unos adaptadores los cuales realizan la transformación de 12 voltios a 5 voltios y 3 amperios los cuales son necesarios para la carga de celulares.

La compra del actuador lineal se llevó a cabo por medio de la plataforma Amazon ya que los ofrecidos en el país superaban el presupuesto establecido, y el cable para el sistema, a solar se compró en Sirius solar al igual que los conectores MC4 requeridos para conexión con el panel.



Logo: **Electrónica Especial**

GILBERTO DURAN F OJAS
NIT. 91070384-6
REGIMEN COMUN
CALLE 33 # 19 - 16 CENTRO
Tel. 6306415 - 3158151698
electronicaespecial94@hotmail.com


FACTURA DE VENTA : **P52001**
FECHA : 13/02/2020 15:57:07
CLIENTE : MOSTRADOR
CC/NIT : 0

CANT.	REFERENCIA	VR. UNIT	TOTAL
1.0	ML298	16.500	16.500
1.0	ARD1R3	38.000	39.000
10.0	JM20	200	2.000
10.0	JMH20	200	2.000
2.0	CN3173H	1.200	2.800
12.0	2X16P	800	9.600
SUBTOTAL			71.900,00
DESCUENTO			1.400,00
INCBP 0			0,00
BASE GRAVABLE			59.243,70
IVA 19%			11.256,30
TOTAL:			70.500,00

Figura 49. Factura driver L298N, Arduino uno, cable y sistema de carga. Fuente autor

Qty.	Item	Item Price	Total
1	ECC-WORTHY 12 Inch Linear Actuator 12" Stroke DC 12V Heavy Duty 330 Pounds Lbs Maximum Lift with Mounting Brackets Misc. X000TG7MBB AM-L11TGF12V300-T-1 799441541851 (Sold by DC HOUSE)	\$59.99	\$59.99
This shipment completes your order.		Subtotal	\$59.99
		Shipping & Handling	\$14.56
		Promotional Certificate	-\$14.56
		Order Total	\$65.46
		Paid via credit/debit	\$65.46

Figura 50. Factura Actuador lineal. Fuente autor

Nro.	Código	Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Recargo	IVA	ICA	INC	Valor de venta por Item	
1	31300000-9	CABLE ENCAUCHETADO	NIU	3	\$ 2.017			\$ 1.149,69			\$ 6.051	
2	44322200-5	PAR CONECTOR MC4	NIU	1	\$ 5.882			\$ 1.117,58			\$ 5.882	
Descuentos y Recargos Globales												
Nro.	Tipo	Código	Descripción				%	Monto				
Datos de Referencia												
Tipo de Documento Referencia				Número Referencia				Fecha Referencia				
Notas Finales												
Datos Totales												
								MONEDA		COP		
								TASA DE CAMBIO				
								Subtotal Precio Unitario (=)		\$	11.933	
								Descuentos detalle (-)		\$	0	
								Recargos detalle (+)		\$	0	
								Subtotal Base gravable (=)		\$	11.933	
								Total impuesto (+)		\$	2.267,27	
								Total mas impuesto (=)		\$	14.200,27	
Descuento Global (-)												
Recargo Global (+)												
Descuento Global (-)												
Valor total de la operación (=)		\$	14.200,27									

Generado por: **Solución Gratuita DIAN**

Figura 51. Factura cable sistema solar y conectores MC4. Fuente autor

7.4.1.3 Compra tubería estructuras

La compra de la tubería requerida para las estructuras se realizó a un familiar el cual brindo precios por debajo de costo debido a que se trataba a material sobrante de otros

trabajos, a este material se le realizaron pruebas teóricas y en software para corroborar su factibilidad.

7.4.2 Montaje del sistema fotovoltaico



Figura 52. Perfiles utilizados para la construcción de la estructura. Fuente Autor.

Se utilizaron perfiles de acero para construir la estructura, Figura 52, los cuales fueron cortados en las dimensiones requeridas por el diseño con una cierra de banco, Figura 53, para así tener cortes exactos y precisos.



Figura 53. Proceso de corte de los perfiles y tubería de acero. Fuente Autor.



Figura 54. Armado de estructura principal. Fuente Autor.

En la figura 54, se puede observar el armado de la estructura, se fija levemente en algunos lugares con puntos de soldadura para luego unirlos por completo con la misma. Podemos ver luego, Figura 55. Y Figura 56., la instalación de uno de los perfiles de soporte laterales que se encuentran posicionados en diagonal.



Figura 55. Instalación de soportes diagonales laterales. Fuente Autor.



Figura 56. Soldadura aplicada para fijar la estructura. Fuente Autor.

El resultado final es una estructura solida, Figura 57., la cual por medio de calculos teoricos y a través de software CAD es capaz de resistir con el esfuerzo de diseño.



Figura 57. Estructura terminada sin pintar. Fuente Autor.



Figura 58. Estructura con recubrimiento anticorrosivo y pintura en negro mate. Fuente Autor.

Al tratarse de un elemento que estará sometido a ambiente de intemperie, es preciso aplicar protección anticorrosiva y pintura para aislar el acero del agua, Figura 58, además de ser necesario techar y aislar térmicamente el espacio, Figura 59, para hacerlo más agradable para los usuarios que se sitúen debajo de el mismo.



Figura 59. Techado y aislamiento térmico. Fuente Autor.



Figura 60. Soporte panel solar. Fuente Autor.

A fin de poder mover el panel libremente y con seguridad, fue necesario construir un marco para el mismo, Figura 60. y Figura 61, el cual esta hecho en angulos de acero de $\frac{3}{4}$ " y calibre 18.



Figura 61. Soporte panel solar terminado. Fuente Autor.

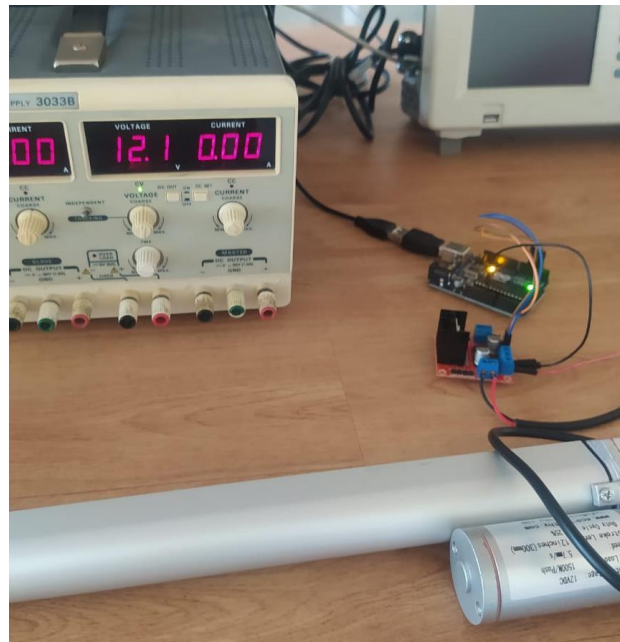


Figura 62. Pruebas controlador Arduino uno. Fuente Autor.

Se hicieron también pruebas para el controlador y el final de carrera empleado en el sistema, Figura 62. y Figura 63., para comprobar su confiabilidad y consumo energético.

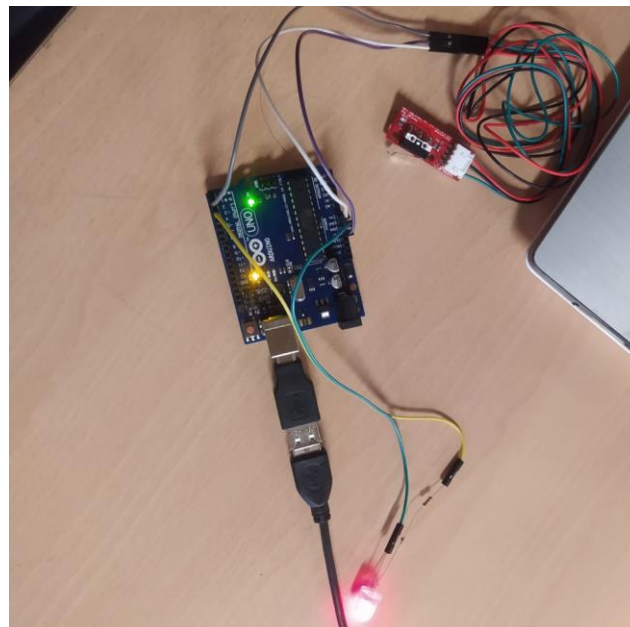


Figura 63. Prueba final de carrera con Arduino uno. Fuente Autor.

7.4.3 Pruebas y toma de datos

Para verificar que el sistema de seguimiento cronológico de un eje aumente la captación de energía se realizaron 2 pruebas en diferentes días. Una de ellas fue la toma de datos de corriente y voltaje generados por el panel desde las 9 am hasta las 3 pm con el sistema de seguidor solar en funcionamiento, esta prueba arrojó los siguientes datos:

Tabla 9. Voltaje y Corriente panel con seguidor. Fuente autor

HORA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	OBSERVACIONES
9:00	33	2.1	
9:20	33.5	2.1	
9:40	21.5	1.2	nublado
10:00	31	3.1	
10:20	30	0.6	nublado
10:40	33.7	0.99	poco nublado
11:00	33.3	2.58	
11:20	32.3	1.4	poco nublado
11:40	34.9	1.47	nublado
12	35	3.47	
12:20	34.3	1.4	nublado
12:28	35.1	1.7	nublado
12:40	30.3	0.9	muy nublado
1:00	32.8	2.24	poco nublado
1:20	32.5	1.25	nublado
1:40	30	0.6	nublado
2:00	29.4	0.5	nublado
2:20	27.5	0.54	nublado
2:40	27.1	0.57	nublado
3:00	21.5	0.53	muy nublado

Como se puede observar en la Tabla 9 hubo mucha nubosidad ese día por lo cual se decidió tomar datos de nuevo y se pueden evidenciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Segunda toma de datos con seguidor. Fuente autor

HORA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	OBSERVACIONES
9:00	33.5	2.41	
9:20	32.5	1.83	
9:40	32	2.03	
10:00	31	1.52	
10:20	33.4	2.5	
10:40	32.6	1.84	
11:00	33.3	3.05	
11:20	22.8	1	nubado
11:40	27	0.9	nublado
12	26.4	0.8	nublado
12:20	31.8	1.54	
12:40	34	2.15	
1:00	34.5	3.2	
1:20	36	3.57	
1:40	30.4	1.27	nublado
2:00	34	1.5	
2:20	28.3	0.8	nublado
2:40	33.8	2.3	
3:00	31.8	2.11	

La segunda prueba se realizó con el panel estático a 10 grados con respecto a la horizontal y mirando hacia el sur, en esta prueba se recogieron los mismos datos que en la prueba anterior los cuales son:

Tabla 11. Voltaje y corriente sistema solar fijo. Fuente autor

HORA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	OBSERVACIONES
9:00	28.5	1.78	
9:20	22.6	0.7	nublado
9:40	23.2	0.85	nublado
10:00	27.6	1.63	
10:20	19.9	0.6	muy nublado
10:40	25.2	1.3	poco nublado
11:00	21.7	1	nublado
11:20	29.5	2.1	
11:40	28.3	1.94	
12	33.6	2.8	
12:20	30	2.34	
12:40	25.6	1.8	
1:00	24.3	1.6	
1:20	25.4	1.73	
1:40	22.5	0.75	nublado
2:00	20.7	0.72	nublado
2:20	26.1	2.3	
2:40	25.3	1.9	
3:00	24.7	1.5	

Ya que en la primera prueba con seguidor se obtuvo mucha nubosidad se descartará la Tabla 9. Con los datos obtenidos en ambas pruebas se puede obtener los Watts generados por el panel en cada hora dando como resultado la Tabla 12 en la cual se observa la comparación entre el sistema con seguidor y sin seguidor.

Tabla 12. Watts generados por hora en cada prueba. Fuente autor

HORA	SEGUIDOR SOLAR(Watts)	PANEL ESTATICO(Watts)
9:00	80.735	50.73
9:20	59.475	15.82
9:40	64.96	19.72
10:00	47.12	44.988
10:20	83.5	11.94
10:40	59.984	32.76
11:00	101.565	21.7
11:20	22.8	61.95
11:40	24.3	54.902
12	21.12	94.08
12:20	48.972	70.2
12:40	73.1	46.08
1:00	110.4	38.88
1:20	128.52	43.942
1:40	38.608	16.875
2:00	51	14.904
2:20	22.64	60.03
2:40	77.74	48.07
3:00	67.098	37.05

Con la Tabla 12 se pudo generar la Fig.64 en la cual se puede observar claramente como mejora la captación de energía con el sistema de seguidor solar obteniendo un pico máximo de 128,52 watts y un mínimo de 21,12 como se puede observar en la gráfica naranja y en la gráfica azul la cual corresponde al sistema fijo se obtuvo un máximo de 94.08 watts y un mínimo de 11.94 watts

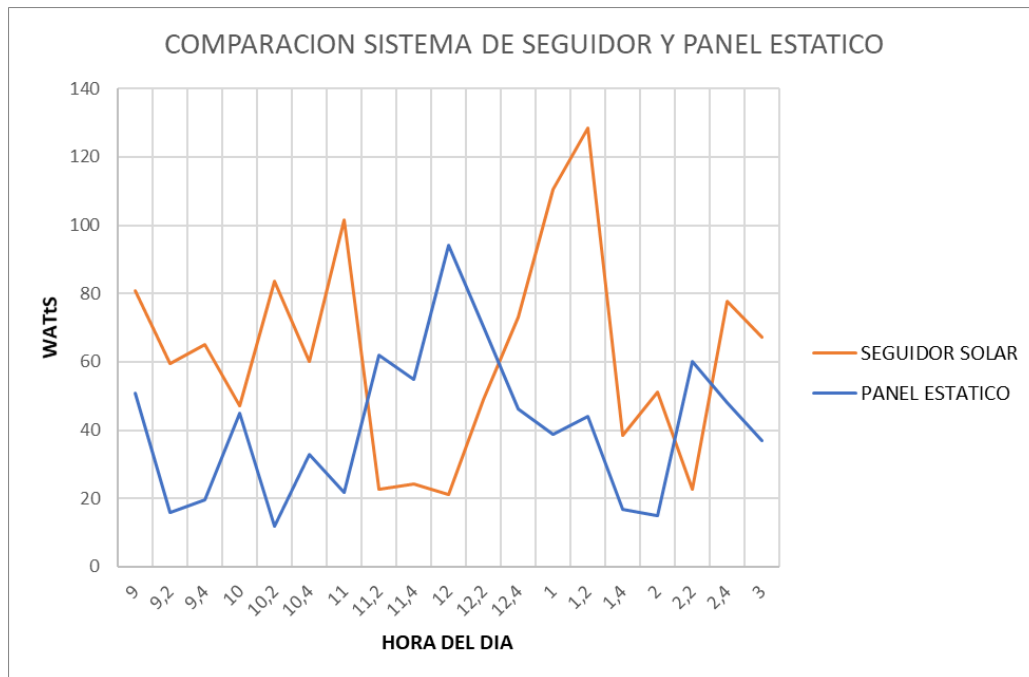


Figura 64. Gráfica comparativa de producción de energía entre sistema estático y con seguidor. Fuente autor

Todo este sistema de seguidor solar se puede obtener por un valor de 368.000 COP el cual se compone de:

Tabla 13. Costo final seguidor solar. Fuente autor

COMPONENTES SEGUIDOR	VALOR
Actuador	198.000 COP
Estructura	100.000 COP
Sistema de control	70.000 COP
TOTAL	368.000 COP

8 CONCLUSIONES

Se diseñó una estructura resistente capaz de soportar todo el peso del sistema incluyendo un sistema de seguimiento solar horizontal de fácil configuración y bajo costo.

Se evidenció que los elementos seleccionados para el sistema fotovoltaico son suficientes para suplir la demanda energética por hasta 24 horas de todos sus componentes haciéndolo autónomo energéticamente.

El actuador lineal y el Arduino seleccionado junto con la programación cumplieron con los resultados deseados de seguimiento de la trayectoria del sol.

Se construyó una estación de carga acorde a los planos y se evidencio que el sistema de seguimiento solar horizontal puede generar más potencia que utilizando el panel en posición estática.

9 REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas, «Naciones Unidas,» ONU, 25 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>. [Último acceso: 4 10 2019].
- [2] UPME, «Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia,» *UPME*, p. 40, 2015.
- [3] R. Arreola, A. Quevedo, M. Castro, Á. Bravo y D. Reyes, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema de,» *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 16, nº 8, pp. 1715-1727, 2015.
- [4] F. Heriberto y J. De Monthy, «COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS MEDIANTE SEGUIMIENTO SOLAR,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, HUANCAYO, 2017.
- [5] J. Casas, F. Gea, E. Javaloyes, A. Martín, J. Pérez, I. Triguero y F. Vives, *Educación Medioambiental*, San Vicente: Editorial Club Universitario, 2007, p. 165.
- [6] International Renewable Energy Agency, «Estadística anual de la capacidad de renovables,» IRENA, New York, 2019.
- [7] K.-s. Hajikami, «Commercialization and Industrialization of Photovoltaic Cells, 1959,» Solar System Group, Nara, 2010.
- [8] R. Martinez, «Estimacion de la eficiencia de un sistema de energia electrica,» UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, Bogota, 2017.
- [9] M. Garrido, F. Castaño, M. Ortega y F. Rubio, «Modelado de un seguidor solar con paneles de alta concentración,» de *XL Jornadas de Automática*, Ferrol, 2019.
- [10] M. Mayer, M. Cáceres, A. Firman y L. Vera, «Desarrollo de algoritmos de control de un sistema seguidor para la medición de las componentes de la radiación solar,» *Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica claves para el desarrollo*, vol. 4, nº 4, pp. 198-210, 2018.

- [11] N. Machado, A. Lussón, L. Oro, J. Bonzon y O. Escalona, «Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar,» *Energética*, vol. 36, nº 2, pp. 190-199, 2015.
- [12] F. Grassi, G. Salum y J. Ansaldi, *DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR DE DOS EJES PARAMETRIZADO POR PC*, Concepción, 2004.
- [13] A. Escobar, M. Holguín y J. Osorio, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO,» *Scientia Et Technica*, vol. 16, nº 44, pp. 245-250, 2010.
- [14] J. Cardenas y E. Hernandez, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EMPLEANDO UN CONTROLADOR PID CON MODO DESLIZANTE,» Bogota, 2014.
- [15] J. Jiménez, R. Orduz, R. Parrado, P. Pérez, C. Martos y P. Gómez, «Prototipo experimental de un seguidor solar fotovoltaico de un eje inclinado integrado a marquesina de aparcamiento,» *Dyna*, vol. 90, nº 1, pp. 1-7, 2015.
- [16] P. Martín Turiel, *Determinación experimental del incremento de producción en sistemas solares fotovoltaicos con seguimiento en un eje y en dos ejes*, Valladolid, 2016.
- [17] F. Arenas Rosales, F. Martell Chávez y I. Y. Sánchez Chávez, «GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CON ADICIÓN DE SEGUIMIENTO CENITAL EN EL CENTRO DE MÉXICO,» *Pistas Educativas*, vol. 39, nº 125, pp. 34-55, 2017.
- [18] J. A. Jiménez Aljure, *DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR AUTOMÁTICO PARA UN ARREGLO BÁSICO DE PANELES FOTOVOLTAICOS*, Bogotá, 2016.
- [19] UPME, «UPME,» UPME, 2018. [En línea]. Available: http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf. [Último acceso: 4 10 2019].
- [20] C. Arancibia y R. Best , «energías alternativas,» *ciencia*, pp. 10-17, 2010.
- [21] S. Ramos, «FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CELDAS,» Universidad de Sevilla , Sevilla, España, 2018.
- [22] G. Ruiz, «Análisis de las características de celdas solares basadas en heteroestructuras ITO/n-Si,» INAOE, Cholula, Mexico, 2008.

- [23] O. P. LAMIGUEIRO, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, ESPAÑA: CREATIVE COMMONS, 2013.
- [24] A. Rodriguez, F. Blanco y M. Muiños, Trigonometria plana y esferica con aplicaciones a la navegacion, madrid: Paraninfo S.A., 2012.
- [25] P. M. Nogales, «REPRESENTACIÓN GRAFICA DE LA POSICIÓN SOLAR Y UNA,» *XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES)*, vol. 1, nº 1, p. 3, 2011.
- [26] J. Romero, «Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y,» UPC, Barcelona, España, 2015.
- [27] G. Arencibia, «La importancia del uso de paneles solares en la generación,» *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 17, nº 9, pp. 1-4, 2016.
- [28] P. Farfan, «Determinación teórica de la banda,» Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogota, Colombia, 2015.
- [29] P. RESTREPO, «DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ASISTIDO POR COMPUTADOR,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, PEREIRA - RISARALDA, 2013.
- [30] J. Fernández, «CARACTERIZACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON DISPOSITIVO,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España, 2009.
- [31] R. Vega, «Estudio comparativo de distintas tecnologías fotovoltaicas,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2013.
- [32] AVAENSEN, «AVAENSEN,» [En línea]. Available: <http://www.avaesen.es/fotovoltaica-de-tercera-generacion/>. [Último acceso: 11 12 2019].
- [33] F. ACEVEDO, «DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD,» UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, BOGOTA, 2016.
- [34] Monsolar.com, «Monsolar.com,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/blog/mejores-fabricantes-paneles-solares-2018/>. [Último acceso: 29 02 2020].
- [35] K. S. d. C. S.A.S., «KR Solar de Colombia S.A.S.,» KR Solar de Colombia S.A.S., 24 03 18. [En línea]. Available: <http://www.krenergiasolar.com/index.php/servicios-kr-solar/off-grid-kr-solar>. [Último acceso: 29 02 2020].

- [36] J. Cardenas y E. Hernandez, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR,» UNIVERSIDAD DE LA SALLE, Bogota, 2014.
- [37] A. ESCOBAR, M. HOLGUÍN y J. OSORIO, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA OPTIMIZACIÓN,» *Scientia et Technica*, vol. 16, nº 44, pp. 245-250, 2010.
- [38] C. Xie, «Elija seguidores solares: HSAT, VSAT o AADAT?,» *The concord consortium*, 2016.
- [39] I. Circuits, «Instructables Circuits,» [En línea]. Available: <https://www.instructables.com/id/Un-Rastreador-Solar-Simple-que-Tiene-Ejes-Duales/>. [Último acceso: 29 02 2020].
- [40] j. Herrero y J. Sánchez, «UNA MIRADA AL MUNDO ARDUINO,» *Tecnología y desarrollo*, vol. 13, 2015.
- [41] M. Vargas, G. Castillo, J. Sandoval y A. Brambila, «Arduino una Herramienta Accesible para el Aprendizaje de Programación,» *Tecnología e Innovación*, vol. 2, nº 4, pp. 810-815, 2015.
- [42] ARDUINO, «ARDUINO,» Creative Commons, [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [Último acceso: 11 12 2019].
- [43] ELPROCUS, «ELPROCUS,» ELPROCUS, 2019. [En línea]. Available: <https://www.elprocus.com/stepper-motor-types-advantages-applications/>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [44] Elprocus, «Elprocus,» Elprocus, [En línea]. Available: <https://www.elprocus.com/stepper-motor-types-advantages-applications/>. [Último acceso: 29 02 2020].
- [45] ENERCOM, «Energia controlada de mexico S.A de C.V,» ENERCOM, 2016. [En línea]. Available: <https://www.energiaccontrolada.com/faq/Que-es-un-motorreductor>. [Último acceso: 11 12 2019].
- [46] M. Components, «Mootio Components,» Optimus, [En línea]. Available: http://www.mootio-components.com/motorreductor-dc-6v-100rpm_ref_011624-6.html#.XlqG0agzaM8. [Último acceso: 15 01 2020].
- [47] eco-worthy, «eco-worthy,» [En línea]. Available: <https://www.eco-worthy.com/collections/linear-actuator>. [Último acceso: 29 02 2020].

- [48] ERMEC, «Catalogo Actuadores lineales,» [En línea]. Available: <http://www.ermec.com/catalogos/2011/CAT-CXLAT-ERMEC-actuadores-lineales-columnas-telescopicas-motores-lineales.pdf>. [Último acceso: 15 02 2020].
- [49] M. Contreras, «Desarrollo e implementación de un sistema de medición, monitoreo y control de carga eléctrica para aplicaciones domésticas,» Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, 2015.
- [50] J. Lorenzo, *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*, Coruña: SunFields Europe.
- [51] CAT, «CAT,» CAT, 2017. [En línea]. Available: https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/excavators/large-excavators/1000026706.html. [Último acceso: 18 02 2020].
- [52] IBEROBOTICS, «IBEROBOTICS,» IBEROBOTICS, 2020. [En línea]. Available: <https://www.iberobotics.com/producto/modulo-driver-motores-l298n-doble-puente-h/>. [Último acceso: 21 02 2020].
- [53] A. Santos y M. Reyes, *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS I*, Bucaramanga-Colombia: División de publicaciones UIS, 2015.
- [54] T. machado, a. Lussón, I. Leysdian, j. Bonzon y o. Escalona, «Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar,» *Ingeniería Energética*, vol. 36, nº 2, pp. 190-199, agosto 2015.
- [55] c. hernandez, *ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES*, Bogotá, 2011.
- [56] j. gonzales, *la generacion electrica apartir de combustibles fosiles*, vol. 33, Mexico, 2009.
- [57] J. Schallenberg, g. Piernavieja, c. Hernández, p. Unamunzaga, r. García, M. Dias, d. Cabrera, g. Martel, j. Pardilla y v. Subiela, *Energías renovables y eficiencia energética*, Santa Cruz de Tenerife: Instituto Tecnológico de Canarias, 2008.
- [58] D. Hoyos, M. Gea, C. Cadena y R. Echazú, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SEGUIDORES SOLARES. ANALISIS Y COMPARACIÓN,» *Avances en energías renovables y medio ambiente*, vol. 12, pp. 71-77, 2008.
- [59] M. Martínez, «RADIACIÓN SOLAR – CONCEPTOS Y APLICACIONES,» REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, 2016.

- [60] D. Hoyos, M. Gea, C. Cadena y R. Echazú, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SEGUIDORES SOLARES. ANALISIS Y COMPARACIÓN,» *Avances en energías renovables y medio ambiente*, vol. 12, pp. 71-77, 2018.
- [61] Á. Aguirre, D. Hernández, L. Ordoñez y L. Martínez, «Comparación de eficiencias de conversión de energía en celdas,» 2015.
- [62] C. A. B. MEJÍA, Curso basico de estructuras metalicas, Manizales: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2005.

10 ANEXOS

10.1 Líneas de programación ingresadas al controlador Arduino.

```
int cont=0;
int IN1 = 2; // IN1 salida de bastago
int IN2 = 3; // IN2 entrada de bastago
int ENA = 5; // ENA energizar actuador lineal
int ENB = 9; // ENB energizado Ventiladores bateria
int IN3 = 8; // Control de giro normal
int IN4 = 10; // Control de giro contrario
int PUL = 4; // PULSADOR inicio
int FIN = 7; // FINAL DE CARRERA
int LED = 6; // Luz LED

void setup()
{

pinMode(PUL, INPUT); // pin 4 como entrada
pinMode(6, OUTPUT); // pin 6 como salida LED
pinMode(IN1, OUTPUT); // pin 2 como salida
pinMode(IN2, OUTPUT); // pin 3 como salida
pinMode(ENA, OUTPUT); // pin 5 como salida
pinMode(FIN, INPUT); // pin 7 como entrada
pinMode(IN3, OUTPUT); // pin 8 como salida
```

```

pinMode(IN4, OUTPUT); // pin 10 como salida
pinMode(ENB, OUTPUT); // pin 9 como salida
}
void loop() {

if (digitalRead(PUL) == HIGH) // Inicio de programa
{

while(cont<5){
digitalWrite(ENB, HIGH); //energiza ventiladores en giro normal
digitalWrite(IN3, HIGH);
digitalWrite(IN4, LOW);
//
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 2.5 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(2574); //

digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos
delay(1197426); //

digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 2.8 segundos
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(2810);

```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos  
delay(1197190); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 3 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);  
digitalWrite(IN2, HIGH);  
delay(3035);
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos  
delay(1196965); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); //energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 3.3 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);  
digitalWrite(IN2, HIGH);  
delay(3249);
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.95 minutos  
delay(1196751); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 3.5 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);  
digitalWrite(IN2, HIGH);  
delay(3448);
```



```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.94 minutos  
delay(1196552);
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 3.6 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH);
```

```
delay(3679);
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.94 minutos
```

```
delay(1196321);
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 3.8 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH);
```

```
delay(3849); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.94 minutos
```

```
delay(1196151); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 4 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH);
```

```
delay(4001);
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195999); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 5 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH);
```

```
delay(5133);
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.92 minutos
```

```
delay(1194867); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 4.1 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); // IN1 a 0
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); // IN2 a 1
```

```
delay(4087); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195913); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); //energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago  
durante 4.2 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4169); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195831); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); //energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 4.2 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4226); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); //deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195774); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 4.25 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4253); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195747); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 4.25 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4249); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195751); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 4.2 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4211); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195789); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 4.1 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4136); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195864); //
```

```
digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
durante 4 segundos
```

```
digitalWrite(IN1, LOW); //
```

```
digitalWrite(IN2, HIGH); //
```

```
delay(4020); //
```

```
digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.93 minutos
```

```
delay(1195980); //
```

```

    digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la entrada del vastago
    durante 2.4 segundos
    digitalWrite(IN1, LOW); //
    digitalWrite(IN2, HIGH); //
    delay(2338); //

    digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilitar actuador lineal durante 19.96 minutos
    delay(10797662); //
    {
        if (digitalRead(FIN) == HIGH)// para garantizar que llegue al final debe tocar un final
        de carrera despues de acabar su ciclo diario
        {
            digitalWrite(ENB, LOW); //desactiva los ventiladores
            digitalWrite(ENA, HIGH); //energiza actuador lineal e inicia la salida del vastago
            durante para regresar a su posicion inicial
            digitalWrite(IN1, HIGH); //
            digitalWrite(IN2, LOW); //
            delay(85000); //

            digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilita el motor durante la noche y se repite de
            nuevo el programa
            delay(55115000);
        }
        else//sino toca el final de carrera se garantiza que inicie al dia siguiente en su
        posicion inicial{
            digitalWrite(ENB, LOW); //desactiva los ventiladores
            digitalWrite(LED, HIGH);
            digitalWrite(ENA, HIGH); // energiza actuador lineal e inicia la salida del vastago
            durante para regresar a su posicion inicial

```

```
digitalWrite(IN1, HIGH); //
digitalWrite(IN2, LOW); //
delay(85000);    //

digitalWrite(ENA, LOW); // deshabilita el motor durante la noche y se repite de
nuevo el programa
delay(55115000);

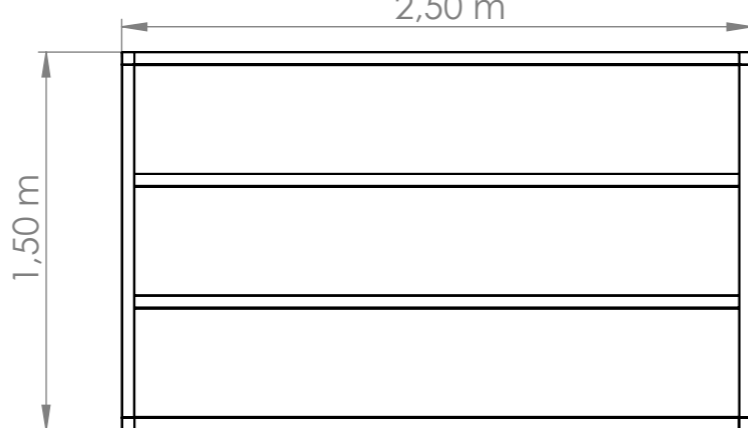
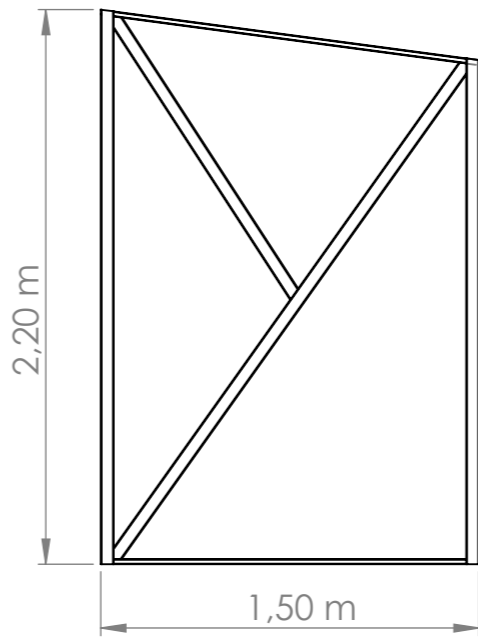
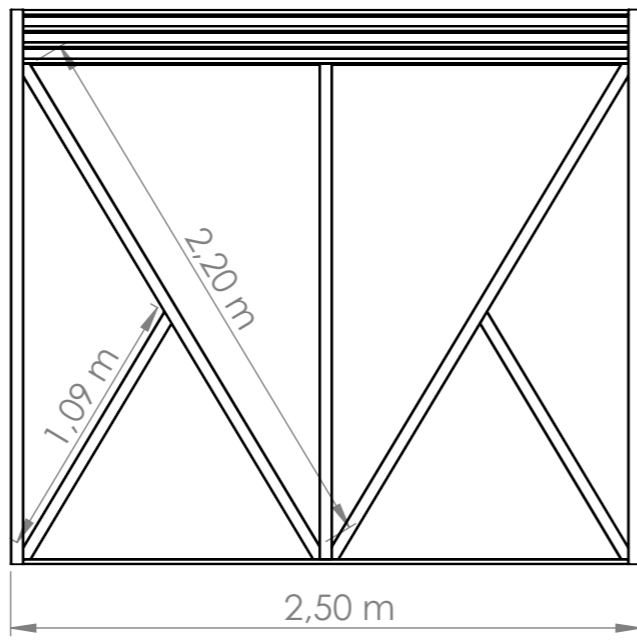
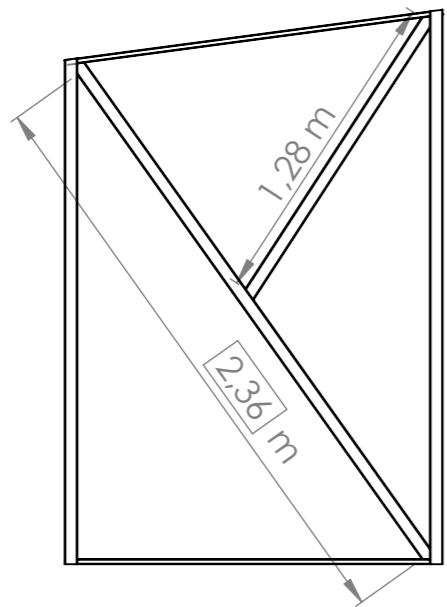
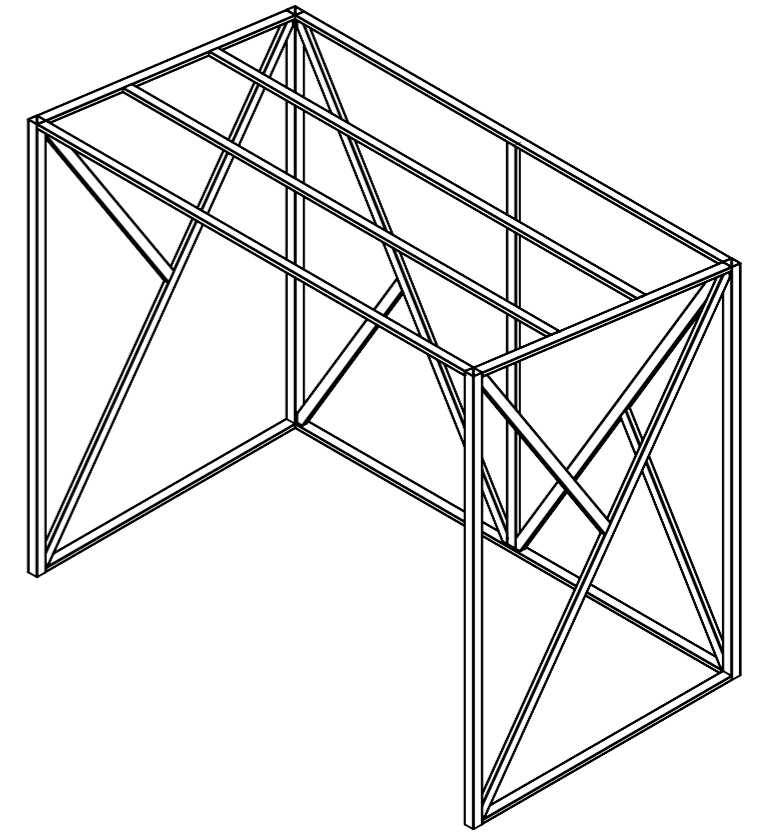
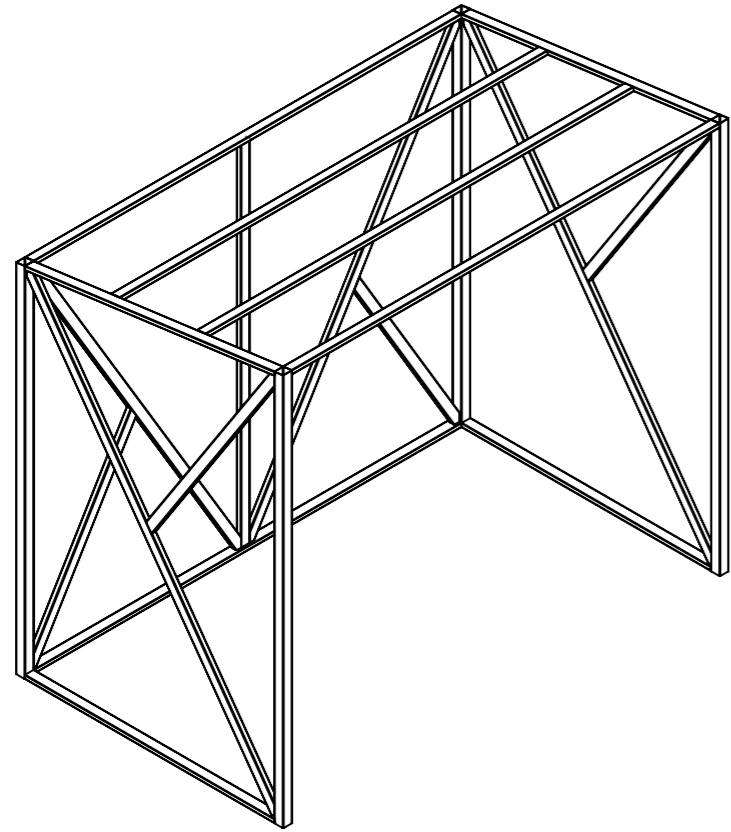
}
}
}

}
}
```

10.2 Planos del seguidor solar y estación de carga

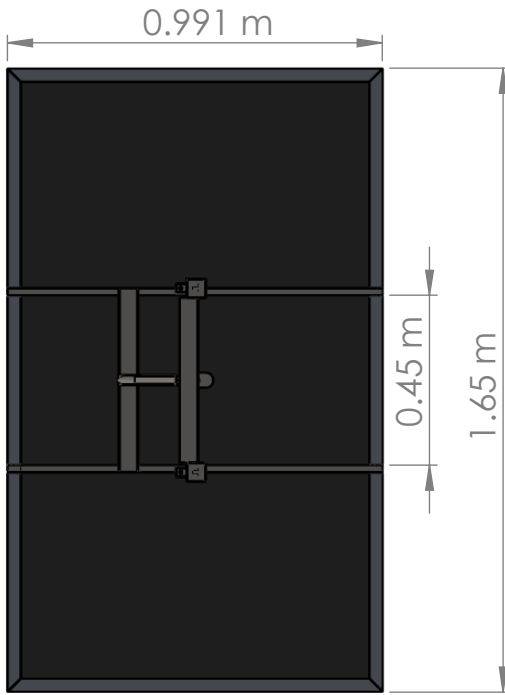
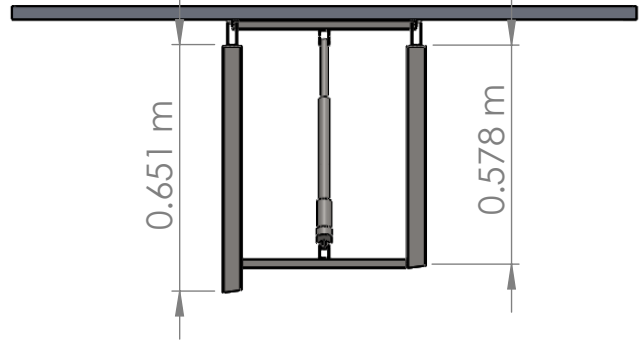
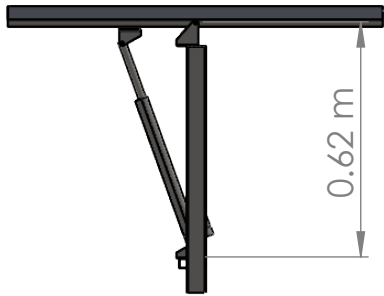
8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



LAS COTAS SE EXPRESAN EN METROS		ESTUDIANTES: JUAN SEBASTIAN PEREZ A. LUIS FELIPE DAZA C.		1:30		REVISIÓN
				DIRECTOR: Dr. OSCAR AMELINES SARRIA		
				TÍTULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE EN UNA ESTACIÓN DE CARGA DE CELULARES UTILIZANDO PANELES SOLARES.		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL: ACERO NEGRO		N.º DE DIBUJO
VERIF.						ESTRUCTURA
APROB.						
FABR.						A3
CALID.				PESO:		HOJA 1 DE 1

8 7 6 5 4 3 2 1



F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

4 3 2 1

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

Escala 1:20

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Luis Daza		
VERIF.	Juan Perez		
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE EN UNA ESTACIÓN DE CARGA DE CELULARES UTILIZANDO PANELES SOLARES.

N.º DE DIBUJO

ensamble seguidor^{A4}

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1