



INGENIERÍA **ELECTRÓNICA**

# **DESARROLLO DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PORTATIL AUTÓNOMO TIPO SMART FLOWER**

**Autor**

**SERGIO FERNEY POMBO GUZMÁN**

**Director**

**VICTOR JULIO VARGAS SARMIENTO**

**MSc. Energías Renovables Y Sostenibilidad Energética**

**Codirector**

**DIEGO ALFONSO PELAEZ CARRILLO**

**Ingeniero Mecatrónico**

**Ingeniería Electrónica**

**Departamento De Electrónica, Eléctrica, Sistemas Y Telecomunicaciones**

**Facultad De Ingenierías Y Arquitectura**

**Universidad De Pamplona**

**Pamplona, Diciembre 2020**

*A mis padres Adalberto Pombo de León y Nelly Guzmán Peña, por su infinita paciencia y amor por mí, a mi pareja María del Carmen Oliveros Mariño que me ha acompañado a lo largo de este proceso, a mi hijo Arlem Steven Pombo Oliveros quien es mi mayor motivación para salir adelante.*

*A mis tíos, primos, hermanos y amigos que estuvieron dándome fuerzas para continuar en este sueño, a aquellos docentes que se han convertido en eje de apoyo para construir mis bases como un profesional, A Goku por enseñarme a nunca rendirme y a todos aquellos que en algún momento de la vida pusieron un poco de inspiración en mi vida para ayudarme a crecer como persona, mil gracias siempre los recordaré.*

## RESUMEN

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) es aquel que produce energía suficiente para satisfacer el consumo eléctrico domiciliario en la red no interconectada mediante el uso de acumuladores energéticos para el suministro de la misma en momentos en los cuales la generación sea menor al consumo.

Este proyecto aprovecha la energía solar a través de un prototipo a escala de un sistema fotovoltaico, tipo Smart flower autónomo para el suministro eléctrico domiciliario, el cual, gracias a que su entorno de trabajo se adapta a la línea ecuatorial, funciona usando un grado de libertad y siendo calibrada su ubicación con respecto al punto de salida del sol mediante una brújula o indicador.

Este sistema se controla mediante lógica Fuzzy, usando para esto el micro controlador

embebido en Arduino con retroalimentación por nivelación lumínica, para absorber con mayor eficiencia la radiación solar, ubicando los paneles horizontalmente con respecto al sol.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1.1 PROBLEMA	12
1.2 JUSTIFICACIÓN	13
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO	15
1.4 BASES LEGALES	16
MARCO TEÓRICO	17
2.1 ANTECEDENTES	19
2.2 ENERGIA SOLAR	21
2.2.1 TIPOS DE ENERGÍA SOLAR	22
2.2.2 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA RENOVABLE Y USO DE LA ENERGÍA SOLAR	22
2.2.3 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA	23
2.2.4 VENTAJAS DE INSTALAR PANELES SOLARES EN UNIDADES RESIDENCIALES	23
2.2.5 VENTAJAS DE INSTALAR PANELES SOLARES EN EMPRESAS	24
2.3 SISTEMA FOTOVOLCAICO	24
2.3.1 PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	25
2.4 LÓGICA FUZZY (DIFUSA)	29
2.5 SMART FLOWER POP	30

METODOLOGÍA	32
3.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO	33
3.1.1 DISEÑO DE LAS ASPAS	33
3.1.2 DISEÑO DE PIÑONES	34
3.1.3 DISEÑO DEL EJE DE ROTACIÓN	35
3.1.4 AGARRE BASE – EJE DE ROTACIÓN	37
3.1.5 BASE	37
3.1.6 DISEÑO FINAL	38
3.1.7 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO FÍSICO	40
3.2 DISEÑO ELÉCTRICO	42
3.2.1 CONFIGURACIÓN PANELES SOLARES	42
3.2.2 SELECCIÓN CONTROLADOR DE CARGA	45
3.2.3 SELECCIÓN BATERÍAS	46
3.2.4 SELECCIÓN INVERSOR	46
3.2.5 ESQUEMA DE INSTALACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL SMART FLOWER	47
3.3 DISEÑO ELECTRÓNICO	49
3.3.1 SENSORES	49
3.3.2 ACTUADORES	55
3.3.3 MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA	59
3.3.4 COMUNICACIÓN SIM900	61

3.3.5 ELECTRÓNICA APLICADA CONVERTOR DC/DC	63
3.3.6 MODULO DE POSICIONAMIENTO GPS NEO 6M	64
3.3.7 ESQUEMÁTICO INSTALACIÓN ELECTRÓNICA	65
3.4 LÓGICA DIFUSA Y PROGRAMACIÓN	67
3.4.1 LÓGICA DIFUSA	67
3.4.2 PROGRAMACIÓN SENSORES	72
3.4.3 PROGRAMACIÓN COMUNICACIÓN SIM900	77
3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA CAPACIDAD INSTALADA	77
3.5.1 CAPACIDAD DE BATERÍA CON AUTONOMÍA 9 HORAS	79
3.5.2 CÁLCULO DEL REGULADOR	80
3.5.3 CÁLCULO DEL INVERSOR	81
ANALISIS DE RESULTADO	82
COSTOS DEL PROYECTO	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98
LITOGRAFÍA	100
ANEXO	102
ANEXO 1. DISEÑO DEL PROTOTIPO 3D	102
ANEXO 2. DISEÑO ROTOR	104

ANEXO 3. DISEÑO ESQUELETO	106
ANEXO 4. DISEÑO ASPAS	108
ANEXO 5. DISEÑO DE PIÑONES	110
ANEXO 6. DISEÑO DE AGARRE	112
ANEXO 6. CODIGO ARDUINO	114

## TABLA DE FIGURAS

FIG. 1 RELACIÓN CORRIENTE VOLTAJE EN UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA (E. ALDOR).	17
FIG. 2 MAPA DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA (IDEAM Y UPME).	18
FIG. 3. SISTEMA AUTÓNOMO TIPO SMART FLOWER RETRÁCTIL.	19
FIG. 4 PANEL SOLAR	26
FIG. 5 BATERÍA 12V	27
FIG. 6 REGULADOR DE CARGA SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	28
FIG. 7 INVERSOR DE VOLTAJE	29
FIG. 8 METODOLOGÍA DEL PROYECTO.	32
FIG. 9 DISEÑO DE ASPAS CON PANEL MEDIDAS EN MILÍMETROS (MM)	33
FIG. 10 DISEÑO DE PIÑONES MEDIDAS EN MILÍMETROS (MM)	34
FIG. 11 PIÑONES ORGANIZADOS VISTA FRONTAL	35
FIG. 12 PIÑONES ORGANIZADOS VISTA LATERAL	35
FIG. 13 EJE DE ROTACIÓN VISTA FRONTAL MEDIDAS EN CENTÍMETRO (CM).	36
FIG. 14 EJE DE ROTACIÓN VISTA LATERAL MEDIDAS EN CENTÍMETRO (CM)	36
FIG. 15 AGARRE BASE – EJE DE ROTACIÓN MEDIDA EN MILÍMETRO (MM)	37
FIG. 16 BASE DE LA ESTRUCTURA MEDIDA EN CENTÍMETROS (CM).	38
FIG. 17 DISEÑO FINAL PROTOTIPO SISTEMA SMART FLOWER MEDIDA EN CENTÍMETRO (CM)	39
FIG. 18 DISEÑO FINAL 45° DE INCLINACIÓN CON RESPECTO AL EJE HORIZONTAL MEDIDA EN CENTÍMETRO (CM).	39
FIG. 19 BASE ESTRUCTURA	40
FIG. 20 PIÑONES	41
FIG. 21 DISEÑO FÍSICO FINAL.	42
FIG. 22 CONFIGURACIÓN PANELES EN SERIE	44
FIG. 23 SISTEMA ELÉCTRICO SMART FLOWER	48
FIG. 24 LM 35	51

FIG. 25 CNY70	52
FIG. 26 ANEMÓMETRO CON DETECCIÓN RPM POR CNY70	53
FIG. 27 SENSOR DE HUMEDAD DHT11	54
FIG. 28 FOTO RESISTENCIAS CON SEPARACIÓN	55
FIG. 29 SERVOMOTOR	57
FIG. 30 SHIELD MOTOR L293D	59
FIG. 31 ARDUINO MEGA Y SUS PARTES	60
FIG. 32 MÓDULO SIM900	62
FIG. 33 MODULO ELEVADOR DC - DC XL6009	63
FIG. 34 GPS NEO 6M	65
FIG. 35 ESQUEMÁTICA INSTALACIÓN ELECTRÓNICA.	66
FIG. 36 FORMA TRAPEZOIDAL	67
FIG. 37 FUNCIONES DE ENTRADA	68
FIG. 38FUNCIÓN DE SALIDA.	68
FIG. 39 VARIABLE DE POSICIÓN CENSADO	69
FIG. 40 SISTEMA DE CONTROL DIFUSO	70
FIG. 41 TOMA DE DATOS	71
FIG. 42 DIAGRAMA DE FLUJO CONTROL LM35	73
FIG. 43 DIAGRAMA DE FLUJO CONTROL DHT11	74
FIG. 44 DIAGRAMA DE FLUJO CONTROL DHT11	74
FIG. 45 DIAGRAMA DE FLUJO CONTROL ANEMOMETRO	75
FIG. 46 PANTALLA GPS	82
FIG. 47 COMPARACIÓN DATOS OBTENIDOS CON DATOS CLIMÁTICOS	83
FIG. 48 COMPARACIÓN HUMEDAD MEDIDA VS SATELITAL	85
FIG. 49 COMPARACIÓN DE TEMPERATURA MEDIDA VS SATELITAL	85
FIG. 50 RESPUESTA A COMUNICACIÓN	86
FIG. 51 MEDICIÓN VOLTAJE SALIDA ASPA SOLAR	87

FIG. 52 CARGA SOLAR DE LA BATERÍA	88
FIG. 53 PRUEBA DE ESFUERZO	89
FIG. 54 LÓGICA DIFUSA EN MATLAB	90
FIG. 55 GRAFICA SALIDA SISTEMA DIFUSO	91
FIG. 56 SFA SMART FLOWER	92
FIG. 57 DISEÑO DEL PROTOTIPO 3D	102
FIG. 58 DISEÑO ROTOR 3D	104
FIG. 59 DISEÑO ESQUELETO 3D	106
FIG. 60 DISEÑO DE ASPAS 3D	108
FIG. 61 DISEÑO DE PIÑONES 3D	110
FIG. 62 DISEÑO DE AGARRE 3D	112

## TABLAS

TABLA 1. DATOS RELEVANTES SENSOR LM35	50
TABLA 2. DATOS RELEVANTES DHT11	54
TABLA 3. DATOS RELEVANTES SERVOMOTOR	57
TABLA 4. DATOS RELEVANTES ARDUINO MEGA	60
TABLA 5 COMPARACIÓN MICROCONTROLADORES	61
TABLA 6. DATOS RELEVANTES SIM900	62
TABLA 7. DATOS RELEVANTES MODULO ELEVADOR DC - DC XL6009	64
TABLA 8. DATOS RELEVANTES GPS NEO 6M	65
TABLA 9 CONSUMO DE LOS COMPONENTES	66
TABLA 10. REGLA DE INFERENCIA DIFUSA.	70
TABLA 11. UBICACIÓN Y RADIACIÓN.	77
TABLA 12. TENSIÓN NOMINAL CONFIGURACIÓN FOTOVOLTAICA.	78
TABLA 13. DISPOSITIVOS A CARGA SOLAR	79
TABLA 15 PORCENTAJE ERROR TEMPERATURA	84
TABLA 16 PORCENTAJE ERROR HUMEDAD	84
TABLA 17 TABLA COMPARATIVA	87
TABLA 14. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	93

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PROBLEMA

El consumo energético global ha sufrido un crecimiento exponencialmente alto, de tal forma que medios tradicionales de producción como lo son el petróleo y el carbón, entre otros combustibles fósiles, además de ser imprácticos puesto que generan gases de efecto invernadero y daños a la atmosfera, se han vuelto ineficientes a la hora de suministrar un servicio constante en una sociedad que cada día se vuelva más tecnificada.

Una de las alternativas para solucionar este inconveniente es el uso de energía solar por medio de paneles solares, puesto que al ver cifras de radiación en Colombia nos damos cuenta que la misma cuenta con un alto potencial en el suministro energía, el cual está siendo desaprovechado como lo veremos más adelante, pero también teniendo en cuenta que los mismos presenta un rendimiento variado en el transcurso del día dado que el sol no siempre se encuentra en la misma posición.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto desarticula el uso de la red cableada y promueve el uso de energías limpias creando un prototipo agradable para la vista, volviéndose una herramienta la cual sea auto sostenible para el micro consumo domiciliario, utilizando un recurso inagotable como es la energía proveniente del sol de forma inteligente, pues se aprovechará la misma para implementar un sistema fotovoltaico tipo girasol, que a diferencia de su homólogo estático puede seguir el punto de mayor radiación en todo momento dándole mayor eficiencia y por su forma estéticamente atractiva buscará la atención del público en general.

Al implementar un sistema independiente de la red domiciliaria dimensionado según las necesidades y buscando la adaptabilidad de todos los componentes electrónicos a la energía solar, además de reducir costos a largo plazo en el servicio eléctrico, se contribuye a disminuir los efectos nocivos causados por el uso de combustibles fósiles en la generación de energía tradicional y se crea cultura de preservación del medio ambiente.

Con el Acuerdo para el Cambio Climático de París en 2015 quedó claro que el desarrollo económico del mundo debe moverse a partir de energías renovables, para dejar atrás la generación a partir de combustibles fósiles, como carbón, petróleo o gas natural.

En Colombia el uso de la energía solar se ha convertido en una alternativa que cada vez tiene más adeptos, sobre todo para generar electricidad. La ubicación geográfica privilegiada para la irradiación energética, el desarrollo de nuevas tecnologías, el auge de nuevos mercados de energías renovables no convencionales y los beneficios tributarios de la Ley 1715 del 2014, han generado un entorno ideal para el desarrollo de pequeños y grandes proyectos basados en este tipo de energía, que convierten al país en un referente de desarrollo de energías renovables.

La UPME y el Ministerio de Minas y Energía estiman que para antes de 2030 cerca de 10% del consumo energético en Colombia va a provenir de proyectos fotovoltaicos o solares.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un prototipo a escala de un sistema fotovoltaico portátil autónomo tipo Smart flower.

### **1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

1. Diseñar una estructura para el seguimiento solar tipo Smart Flower.
2. Elaborar la estrategia de control del SFA por nivelación lumínica.
3. Realizar el dimensionamiento del sistema autónomo.
4. Implementar el sistema autónomo portátil tipo Smart Flower.

## 1.4 BASES LEGALES

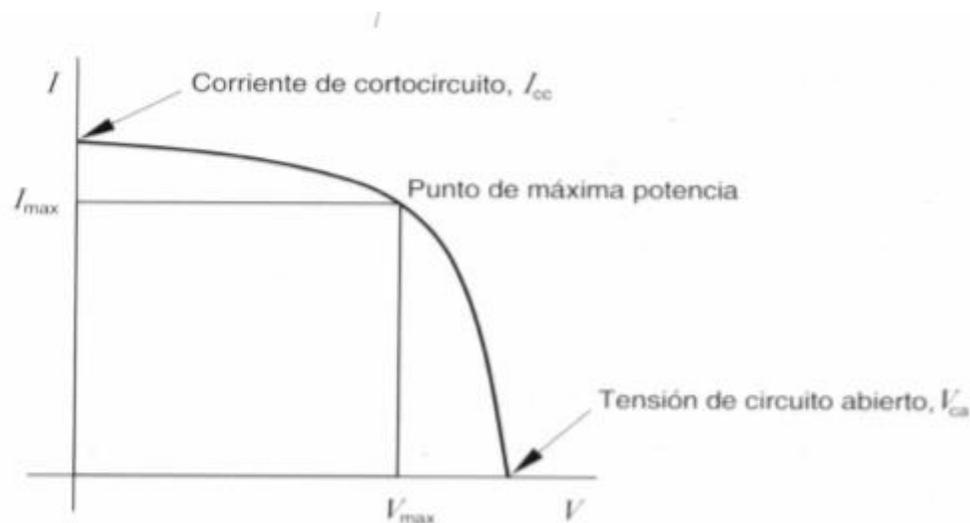
- LEY 697 DE 2001. fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 44.573, de 05 de octubre de 2001 congreso de la república.

- LEY 1715 DE 2014. Promueve la utilización de fuentes no convencionales de energía, de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda. Diario Oficial No. 49.150 de 13 de mayo de 2014 Congreso de la república.

## MARCO TEÓRICO

La corriente producida por cada célula solar al ser empleada en un trabajo útil, producida por una caída de tensión, varía en función de la misma como se muestra en la siguiente figura.

*Fig. 1 Relación corriente voltaje en una célula fotovoltaica (E. Aldor).*

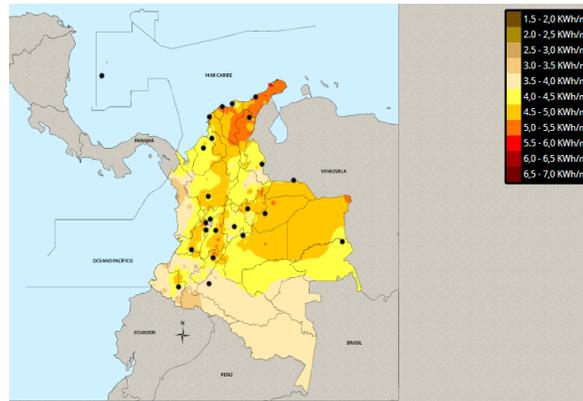


Por tanto, para obtener el mejor rendimiento de las células fotovoltaicas, la misma debe estar operando en  $I_{max}$  y  $V_{max}$  donde se considera que su potencia es la máxima alcanzable por el sistema. [1]

Según datos subidos al atlas del IDEAM sobre radiación solar de Colombia, basada en diferentes estudios realizados por este ente y la UPME mediante la suscripción de un convenio a finales de 2002, el cual buscaba avanzar en el conocimiento de los recursos energéticos renovables y apoyar la toma de decisiones en cuanto a soluciones energéticas para atender las necesidades de las diferentes zonas del país, la luminiscencia solar que nos llega a los colombianos está en el rango comprendido entre los 2 KWh/m<sup>2</sup> a los 6 KWh/m<sup>2</sup>, donde Pamplona y gran parte de Norte de Santander está en una zona en la que llega aproximadamente entre 3,5 KWh/m<sup>2</sup> a 4,5 KWh/m<sup>2</sup> [2], haciendo atractiva la idea de profundizar en aplicaciones

que nos permita aprovechar esta propiedad para el crecimiento tecnológico, mejorar nuestra calidad de vida y cubrir las necesidades básicas eléctricas.

*Fig. 2 Mapa de radiación solar en Colombia (IDEAM y UPME).*



En cuanto al tema de las energías limpias, en nuestro país la que es más reconocida y mayor uso se le da, es a la hidroeléctrica de la cual se aprovechan las represas de agua como recurso energético para el abastecimiento de las diferentes regiones del país [3], en vista de los llamados fenómenos del niño, la niña y otros problemas que se les han presentado, la producción eléctrica ha tenido sus altos y bajos.

Mediante la ley 1715 se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, en su capítulo 3 habla de incentivos a aquellas personas que generen energías no convencionales, como lo es la deducción en la renta y crea fondos para el apoyo a proyectos que impliquen energías limpias para el autoconsumo en zonas no interconectadas, como indica en el artículo 40 de la misma [4].

El sistema Smart Flower se basa en el uso de paneles solares en forma de flor retráctil, lo que le permite mayor protección, basado en su sistema de sensores y una programación intrínseca, es capaz de hacer un seguimiento continuo al punto de mayor radiación solar, como se ve en la figura.

*Fig. 3. Sistema Autónomo tipo Smart Flower retráctil.*



Aprovechando así de forma inteligente en todo momento las mejores condiciones de carga. Actualmente en el mundo muy pocos son los que se dedican a su elaboración, tanto así que no existe de momento un sistema como este adaptado a las necesidades específicas de los países que se encuentran en el ecuador, donde no es necesario el uso de dos grados de libertad.

## **2.1 ANTECEDENTES**

En 2017 en valle del cauca se inició una mega apuesta por la generación de energía solar en Yumbo, dotada de las últimas tecnologías, ubicada en un terreno de 18 hectáreas, donde antes quedaba la planta Termo Yumbo la cual producía energía a base de carbón, con la intención de producir 9,9MWh como resultado del montaje de más de 35.000 paneles solares y una central de distribución [5].

De igual forma en países como España también se vienen realizando proyectos como en el caso de Marcos Bernal España, quien hizo su tesis de grado, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES, para la obtención del título como ingeniero informático en la escuela superior de ingenieros informáticos en la universidad Politécnica de Madrid, la cual consiste en la construcción de un seguidor solar de dos ejes basado en el control de un microcontrolador PIC18F4520 y un circuito electrónico que sirve de prototipo físico para validar el diseño [6].

Otro ejemplo de proyectos enmarcados al desarrollo de las energías renovables en nuestro país se presenta en el caso de los señores WILLIAM ANDRES BARRERA SALAZAR FABIAN ALEXANDER CASTILLA GARZÓN quienes para optar por el título de ingenieros mecánicos en la universidad libre de Colombia nos presentan una monografía titulada PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CONSUMO ELÉCTRICO EN EL MUNICIPIO DE QUEBRADANEGRA, CUNDINAMARCA. La cual consiste en analizar la operación de sistemas solares fotovoltaicos y cada uno de los elementos que hace parte del sistema de forma directa e indirecta, para establecer la viabilidad del sistema y poder multiplicarlo a varias zonas del país para adaptar su uso a diferentes condiciones y obtener mejores resultados energéticos. [7]

DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR AUTOMÁTICO PARA UN ARREGLO BÁSICO DE PANELES FOTOVOLTAICOS, tuvo como objetivo el diseño de un sistema de seguimiento solar automático de dos ejes para un arreglo de cuatro paneles solares. El diseño parte de un diagnóstico y una evaluación teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos instalados en Bogotá. De esta manera se eligió el diseño que cuenta con los parámetros y exigencias funcionales requeridas por el proceso de aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. [8]

IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA COMPARATIVA DE PANELES FOTOVOLTAICOS, tuvo como objetivo principal la implementación de un seguidor solar para la evaluación energética comparativa de paneles fotovoltaicos. Siendo necesario para ello diseñar, construir e implementar un seguidor solar diario de dos ejes, automático con capacidad de registro de datos tales como temperatura, irradiancia y potencia de paneles fotovoltaicos, todo ello, con materiales accesibles [9]

SEGUIDOR SOLAR DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL AISLADA CON AVISO PREVENTIVO DE MANTENIMIENTO, tiene como finalidad, diseñar un sistema mecatrónico que permita situar dos paneles fotovoltaicos en dirección a la posición del Sol. Esto con el fin de aprovechar de la mejor manera los

niveles de radiación que inciden en los paneles solares, buscando obtener mayor energía para el consumo del hogar. [10]

## **2.2 ENERGIA SOLAR**

Iniciemos hablando del termino energía renovable que ha recibido el siguiente significado: según la definición de la RAE es “la energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable” Por ejemplo, la energía solar. Es una energía inagotable e incalculable y que por el momento es imposible que se acabe.

Según Celsia (Lideres en energía renovables no convencionales) s/f. Empresa colombiana, la energía renovable es aquella “energía que proviene de fuentes naturales prácticamente inagotables, como es el caso del agua, el viento y el sol. Se consideran así, por la gran cantidad de energía que contienen o por poderse regenerar de forma natural”.

La energía solar es un “tipo de energía renovable o limpia que proporciona el sol debido a su radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) y de esta se puede generar calor y electricidad” (Celsia, Colombia).

Según la IEA International Energy Agency, la energía solar hoy en día representa la segunda fuente avanzada de energía renovable de mayor penetración en el mundo, después de la eólica, con una producción que equivale a entre 0,85% y 1% de la demanda mundial de electricidad. Con el paso de los tiempos el hombre ha aprendido a utilizarlas para su aprovechamiento, el aire, el sol y la misma agua se han convertido en fuentes de ingresos e ideas de negocios.

A pesar del auge mundial en el uso de energía solar fotovoltaica en países desarrollados, países en desarrollo como lo es Colombia poco es lo que incursiona en este campo de forma eficiente.

En Colombia la capacidad efectiva instalada al año 2018 fue de 50 MW, capacidad que se prevé según la revista dinero a que en el año 2022 aumente a más de 2200 MW siendo que ya para el año 2019 se había instalado más de 1500 MW de la misma. (B)

### **2.2.1 TIPOS DE ENERGÍA SOLAR**

Existen tres tecnologías principales para el aprovechamiento de la energía solar: la energía solar fotovoltaica, que convierte la luz del sol en energía; la energía solar concentrada, que aprovecha el calor del sol para impulsar motores térmicos; y la energía térmica solar (energía termo-solar) y frío solar, que usa la energía solar para proveer de agua caliente o acondicionar el aire refrescándolo (Celsia, Colombia).

### **2.2.2 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA RENOVABLE Y USO DE LA ENERGÍA SOLAR**

- Es renovable.
- Es una fuente de energía ilimitada.
- Es la fuente de energía más limpia, no produce gases de efecto invernadero.
- Tiene un bajo costo de aprovechamiento, tras la inversión inicial en la fabricación de los componentes y la instalación, que es la que puede resultar más costosa.
- Está disponible en todo el planeta, por lo que se convierte en la mejor forma de proveer electricidad a lugares aislados, donde el costo de instalar líneas de distribución de electricidad es demasiado alto.
- La tecnología permite convertir la energía solar en electricidad por medio de dispositivos fotovoltaicos y de energía solar térmica.
- Reduce las importaciones energéticas.

### **2.2.3 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA**

- La posición geográfica de Colombia, cercana al Ecuador, beneficia la captación de energía solar.
- En Colombia no se necesita ningún permiso para instalar paneles solares.
- Permite cumplir con la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda que consiste en vivienda sostenible.
- Genera beneficios económicos a largo plazo.
- Beneficios tributarios e incentivos por parte del Estado por el uso de energía solar, establecidos en la Ley 1715 del 2014.
- Llevar electricidad a zonas remotas y de difícil acceso donde no existe red eléctrica.
- Generar nuevas oportunidades de empleo a partir de energías limpias.
- Ayuda a evitar la emisión de gases contaminantes como CO<sub>2</sub>, a la vez que se aporta al compromiso que tiene el país en el Acuerdo de París, de reducir el 20% de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2030 bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), según el Ministerio de Medio Ambiente.

### **2.2.4 VENTAJAS DE INSTALAR PANELES SOLARES EN UNIDADES RESIDENCIALES**

- La vivienda adquiere mayor valor de venta por la instalación solar y el uso de energías menos contaminantes.
- Un sistema fotovoltaico ayuda a evitar futuros costos en energía haciendo rentable su consumo.
- Respaldo de energía en caso de cortes eléctricos.

## **2.2.5 VENTAJAS DE INSTALAR PANELES SOLARES EN EMPRESAS**

- Incentivos tributarios que otorga el Estado por realizar proyectos con energías renovables, a través de la Ley 1715 de 2014, como:
  - Deducción en el pago del impuesto de renta del 50% de las inversiones en un período de 5 años.
  - Exclusión de IVA de los bienes asociados al proyecto.
  - Exención del gravamen arancelario.
  - Desarrollar proyectos de sostenibilidad y responsabilidad social, reducir el consumo de energía eléctrica y ser líderes en proyectos de innovación tecnológica.
  - Ahorro eficiente y efectivo de consumo de energía.
  - Tener infraestructura cero emisiones y amigable con el medio ambiente.
  - Tener rentabilidad luego de la inversión inicial.
  - Los empleados tienen un consumo responsable de los recursos en sus instalaciones.

## **2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Información registrada por Quiminet, el portal de negocios más grande de América Latina (16 noviembre 2011) se refiere a los sistemas fotovoltaicos así:

“Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica”.

En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC).

La generación de energía eléctrica dependerá de diversos factores entre los más destacados está las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

Los dispositivos a través de los cuales se absorbe la energía solar son las celdas solares. Estos son elementos de los sistemas fotovoltaicos que tienen la capacidad de producir energía eléctrica al aprovechar la luz solar que incide en ellos. Las celdas solares se fabrican con materiales semiconductores, tales como el silicio, que tienen la función de recibir los fotones que viajan a través de los rayos solares.

Una vez que los fotones que emite la radiación solar entran en contacto con los átomos presentes en las celdas solares, se liberan electrones que comienzan a circular a través del material semiconductor con el que se fabrican las celdas y se produce energía eléctrica.

Con este sistema la energía generada se inyecta a la red eléctrica y de allí se toma cuando uno la necesita.

### **2.3.1 PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

#### **2.3.1.1 LOS PANELES SOLARES**

Celsia, Colombia nos da también la siguiente contextualización con respecto a los paneles solares y nos dice que son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad. Están formados por celdas solares que a su vez contienen células solares individuales hechas de materiales semiconductores como el silicio (cristalino y amorfo) que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).

Cuando hay luz solar, una célula solar se comporta casi como una batería. La luz solar recibida separa los electrones de modo que forman una capa de carga positiva y una de carga negativa en la célula solar; esta diferencia de potencial genera una corriente eléctrica.

Estos paneles se conectan a su vez a una batería que almacena la electricidad generada y es esta carga la que se utiliza. Los paneles solares se componen de

células fotovoltaicas (PV), que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC) durante las horas del día.

*Fig. 4 Panel Solar*



*Fuente: hoja de características*

### **2.3.1.2 BATERÍA**

Miguel Alfonso, Abella Investigador CIEMAT nos expone en su investigación sobre los sistemas fotovoltaicos y nos aclara conceptos y definiciones de los componentes necesarios para el aprovechamiento de este recurso renovable como es la energía solar, en este espacio de la investigación hablaremos sobre las baterías.

En los sistemas fotovoltaicos las baterías o acumuladores se utilizan principalmente como sistema de almacenamiento energético, debido al desplazamiento temporal que pueden existir entre los periodos de generación (durante el día) y los periodos de consumo (durante la noche) permitiendo la operación de las cargas cuando el operador FV por sí mismo no puede generar la potencia suficiente para abastecer el consumo.

Existen diversos tipos de materiales, la batería en nuestra investigación es de litio.



*Fig. 6 Regulador de carga sistema fotovoltaico autónomo*



*Fuente: Hoja de Características*

Es responsable en última instancia tanto de la capacidad de satisfacer los consumos como de la vida útil de la batería.

#### **2.3.1.4 INVERSOR**

Avella, Miguel A. (s.f). Energía solar fotovoltaica. Sistema fotovoltaico nos reafirma como se lleva a cabo el proceso fotovoltaico y el papel de los componentes. En esta parte del estudio se menciona una vez más que el generador fotovoltaico produce corriente continua. El sistema fotovoltaico autónomo para poder utilizar cargas en corriente alterna se necesita un dispositivo electrónico, denominado inversor, que convierte la corriente continua en corriente. Normalmente está conectado a una batería.

La función principal del inversor DC/AC, es convertirse en modulador de ondas alternas de salida y regular el valor eficaz de la tensión de la salida. En nuestro caso es monofásico a 60 Hz, también hay trifásicos, se contará con uno de 12 voltios en directa y 110 voltios en alterna y estará conectado al controlador.

Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida: de onda cuadrada, de onda modificada o quisi-senoidal y de onda senoidal. Esta última es la que se utilizará en nuestro diseño.

*Fig. 7 Inversor de Voltaje*



*Fuente: Propia*

## **2.4 LÓGICA FUZZY (DIFUSA)**

Según el artículo tutorial de lógica Fuzzy de Ing. Guillermo Tejada Muñoz que pretende difundir los conceptos básicos sobre la lógica Fuzzy o lógica borrosa, difusa o nebulosa nos da los siguientes aportes:

George Boole (1815-1864), propuso un esquema o sistema para la expresión simplificada de problemas lógicos a través de dos estados (falso o verdadero) mediante un procedimiento matemático. A esta estructura se la denomina álgebra booleana. Se le llama conjunción lógica al resultado verdadero que se obtiene cuando los dos enunciados son verdaderos: si A es verdadero y B es verdadero, la conjunción de A y B será verdadera.

La lógica booleana es conocida como la más precisa de todas las ciencias y disciplinas teóricas. La mayoría de las ciencias modernas y matemáticas se basan en

sus principios. A pesar de sus ventajas de exactitud, la lógica booleana tiene su desventaja de no poder reproducir patrones del pensamiento humano.

Es así como en los ochenta el profesor Lotfi Zadeh de la Universidad de California en Berkeley, pretendió suplir esta deficiencia y creó la lógica Fuzzy.

Como disciplina teórico matemática, la lógica Fuzzy está diseñada para reaccionar a cambios continuos de la variable a ser controlada y se diferencia a la lógica booleana al no estar restringida a dos únicos valores 0 y 1. En su lugar permite valores parciales y multi-valores de verdad. Tutorial de lógica Fuzzy por Tejada, Guillermo (Lima, Perú. s/f).

Desarrollando el concepto de conjunto difuso que permiten describir conceptos como el de “ropa muy sucia” que maneja una lavadora inteligente, o el de “vehículo delantero demasiado próximo” que puede utilizar un automóvil., introdujo poco después la lógica difusa, en la que entre lo verdadero y lo falso existen todos los posibles grados de verdad. De alguna manera, la visión tradicional de que las cosas son blancas o negras da paso a una escala de grises que enriquece las posibilidades de analizar la realidad. Así, nuestra lavadora inteligente tendrá en cuenta que, si la ropa está muy sucia, se debe prolongar el lavado, o que, si quedan demasiados restos de detergente, hará falta un nuevo aclarado. Revista El país, 07 de septiembre 2017.

Técnica que ha hecho posible que las máquinas manejen conceptos imprecisos como lo hacen los humanos, y realicen a partir de ellos cálculos y razonamientos más eficientes y ajustados a la realidad.

## **2.5 SMART FLOWER POP**

Es un girasol solar inteligente en forma de flor con pétalos. La idea es crearlo en un sistema de energía doméstico, al menos para aquellos que dispongan de un amplio jardín, o una finca. A cambio ofrece hasta 6.200 kWh al año con los que cubrir las necesidades eléctricas de una casa media según datos europeos europea (cuyo

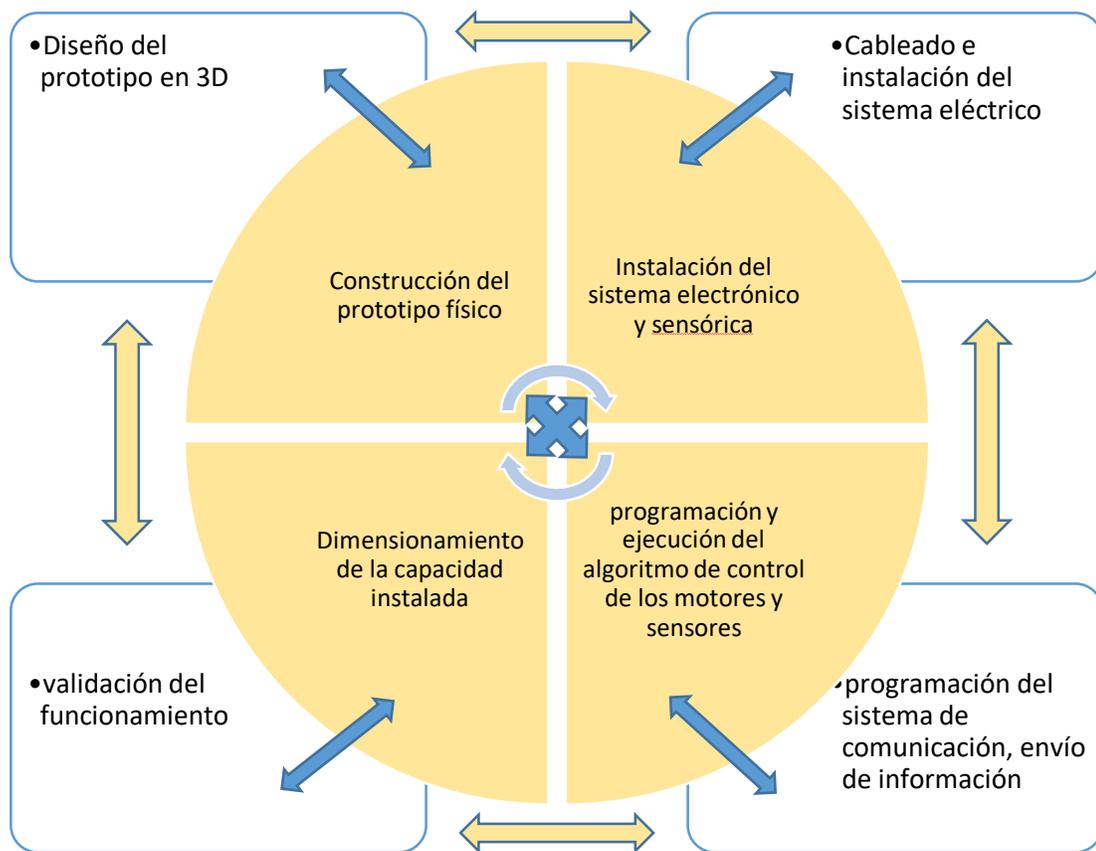
consumo se estima en unos 449 kWh), cifras ofrecidas por el diario de circulación La república, (19 de febrero 2019).

Smart flower se despliega por la mañana cuando sale el sol y gira de forma síncrona con el astro rey para optimizar la recepción de energía en sus paneles monocristalinos (pétalo). Esto incrementa en un 40% su eficiencia frente a los paneles fotovoltaicos de tejado. Por supuesto, al llegar la noche, los paneles se repliegan para estar en óptimas condiciones al día siguiente. (Clipset, 2015).

## METODOLOGÍA

La metodología de trabajo desarrollada en este proyecto va orientada desde la revisión bibliográfica pasando a la parte mecánica, eléctrica y electrónica desde el diseño del sistema fotovoltaico autónomo hasta la culminación del mismo en un eventual dimensionamiento de la capacidad instalada todo después de realizar la respectiva revisión bibliográfica.

*Fig. 8 Metodología del proyecto.*



*Fuente: Propia*

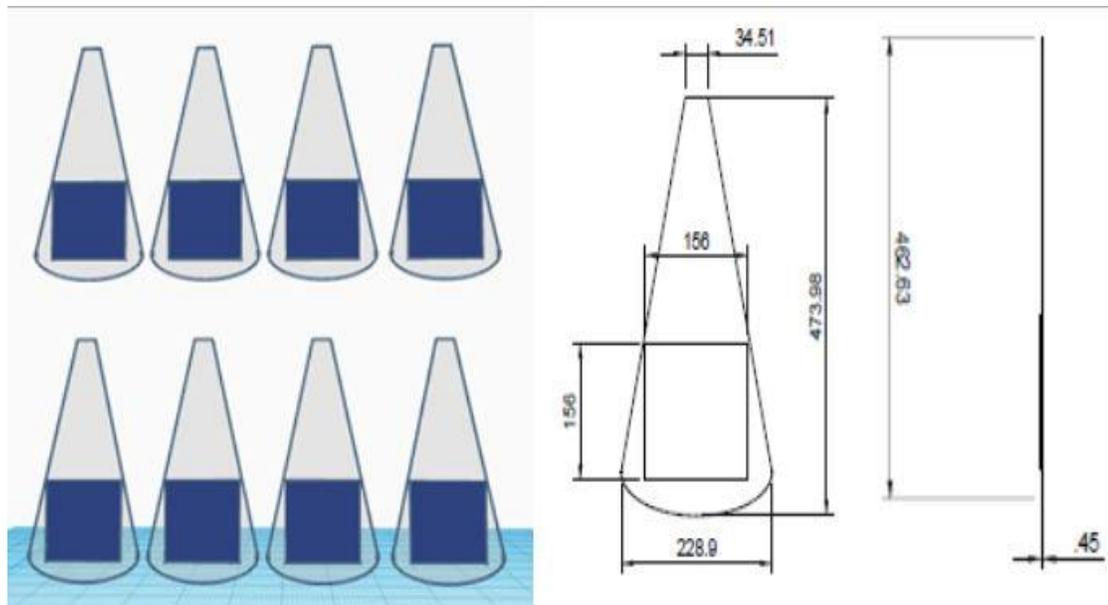
### 3.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO

#### 3.1.1 DISEÑO DE LAS ASPAS

Las aspas son creadas usando acrílico con el fin que tengan forma de flor o hélices lo cual es el deseo final del proyecto, con celdas fotovoltaicas recubiertas de una película transparente que las protege y no afecta su funcionamiento, haciéndolas agradables a la vista.

Para el desarrollo del prototipo inicial se ubican 8 hélices, (buscando con esto que quede acorde al diseño de los piñones) a las cuales se le provee a cada una de un panel solar de 5w con una dimensión de 15,6cm x 15,6cm lo que nos permite proporcionar a las aspas de un diseño reducido que no implica demasiada carga al sistema.

*Fig. 9 Diseño de aspas con panel medidas en milímetros (mm)*



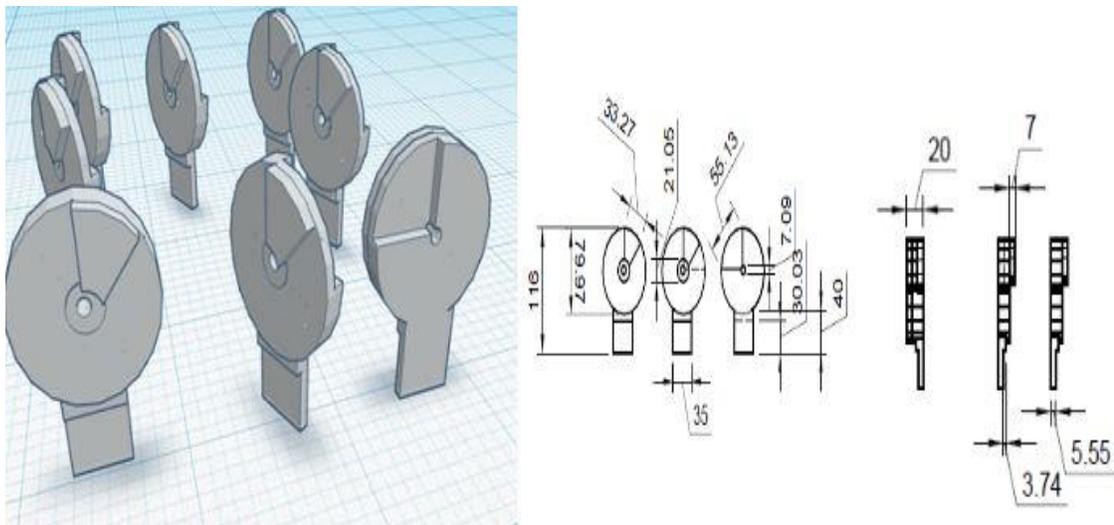
*Fuente: Propia*

### 3.1.2 DISEÑO DE PIÑONES

Al querer elaborar un diseño que tenga apertura y resguardo de las aspas se hace necesaria la creación de unos piñones que me permita el movimiento de cada aspa de forma independiente desde su posición inicial hasta la final y viceversa, dado que el prototipo se elaboró con un total de 8 aspas el grado de libertad de movimiento de la una con respecto a la otra será de máximo  $45^\circ$  haciendo así la división de una circunferencia en 8 partes.

Teniendo en cuenta que en una de sus caras debe haber un sistema de arrastre que permita con un solo motor realizar el movimiento de todas y la ubicación de las mismas en la posición final deseada la cual puede ser de la mitad del área de su contra parte y la otra cara un área con un ángulo de  $45^\circ$  para que así el movimiento máximo de arrastre por aspa independiente sea este.

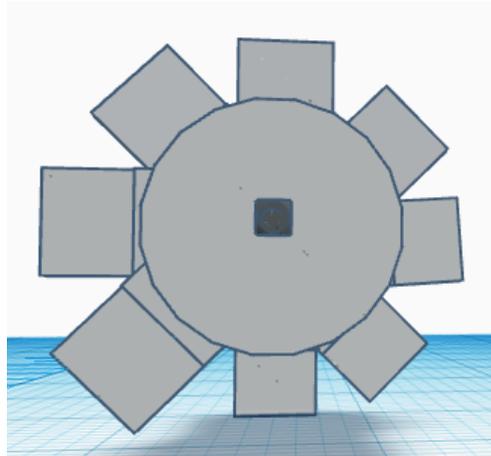
*Fig. 10 Diseño de piñones medidas en milímetros (mm)*



*Fuente: Propia*

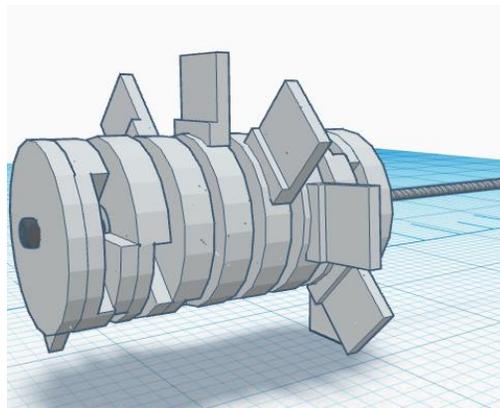
Una vez organizados se puede notar como se empieza a generar la forma de una flor y dado que cada uno tiene un grado de libertad de movimiento de máximo  $45^\circ$  no se presenta inconveniente con el hecho de querer que la apertura sea uniforme como se nota en la siguiente figura.

*Fig. 11 Piñones Organizados vista frontal*



*Fuente: Propia*

*Fig. 12 Piñones Organizados vista lateral*



*Fuente: Propia*

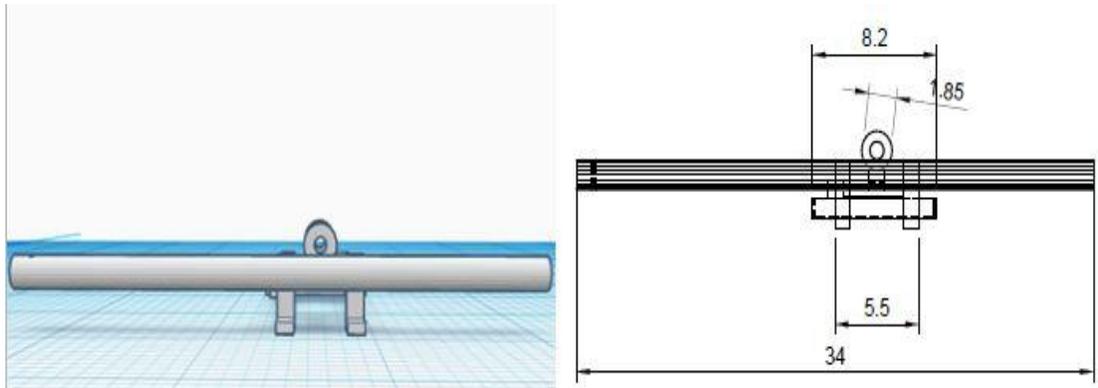
### **3.1.3 DISEÑO DEL EJE DE ROTACIÓN**

El Smart Flower se caracteriza por hacer seguimiento continuo del sol desde que amanece hasta llegada la noche, por tal razón, para hacer dicho seguimiento se hace necesario tener un eje de rotación en donde puedan descansar las aspas y el motor encargado de la apertura y retorno de las mismas.

Para tal propósito se diseñó un eje el cual está comprendido por una barra horizontal que al anexarla a un motor realiza la rotación con respecto al sol, además

de otra transversal sobre la cual hay dos balineras que sirven de apoyo para las aspas junto con dos pie-amigos fijos sobre los cuales descansa la última aspa como se ve en la siguiente figura, impidiendo así la rotación de la misma dándole más estabilidad al sistema.

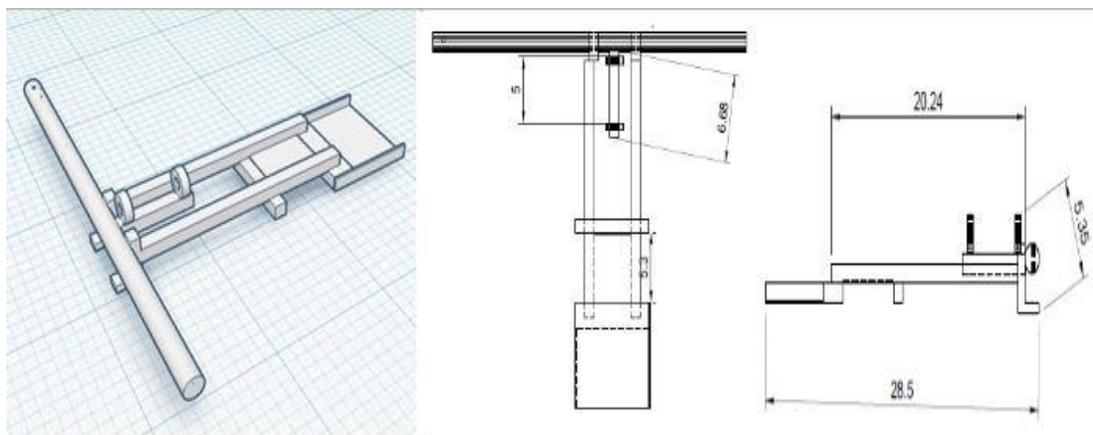
*Fig. 13 Eje de rotación vista frontal medidas en centímetro (cm).*



*Fuente: Propia*

Además, en la parte posterior como se observa en la imagen a continuación, posee un contrapeso el cual está encargado de equilibrar el eje y así disminuir la carga al motor en el momento de realizar la rotación, este contrapeso se calcula en base al peso de las aspas junto con los piñones y teniendo en cuenta las distancias de los mismos y la distancia en el contrapeso.

*Fig. 14 Eje de rotación vista lateral medidas en centímetro (cm)*

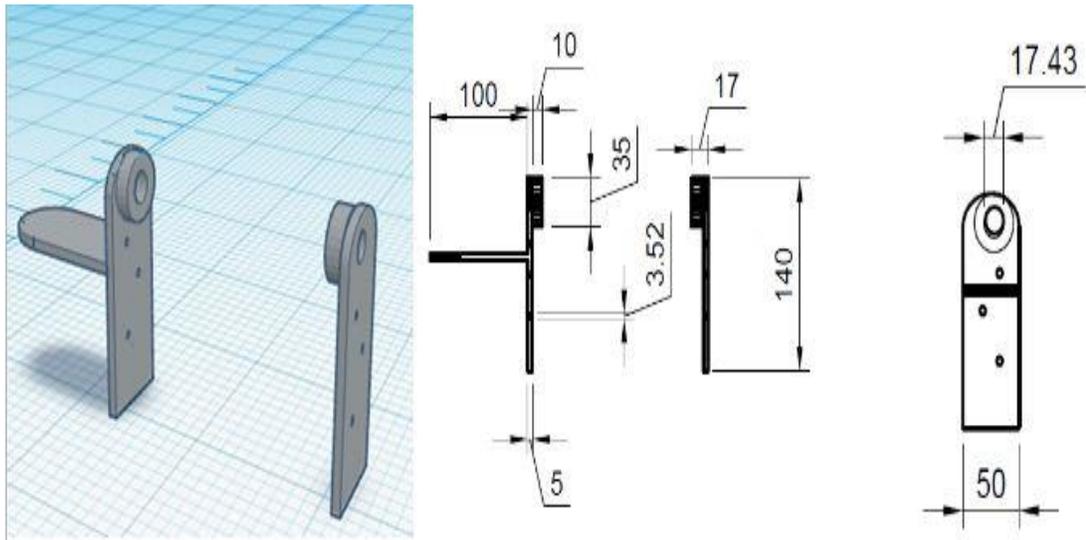


*Fuente: Propia*

### 3.1.4 AGARRE BASE – EJE DE ROTACIÓN

Es un agarre que se hace de forma independiente el cual está comprendido por una barra metálica delgada soldado a una balinera, lo que permite que el eje de rotación descansa sobre él y por medio de tornillos pueda adherirse a la base, además en una de sus secciones de forma transversa posee un espacio sobre el cual se puede ubicar el motor a usar para proporcionar la rotación necesaria en el momento en el cual el sol cambie su ubicación con respecto al ángulo de inclinación de los paneles como se ve a continuación.

*Fig. 15 Agarre Base – Eje de rotación medida en milímetro (mm)*



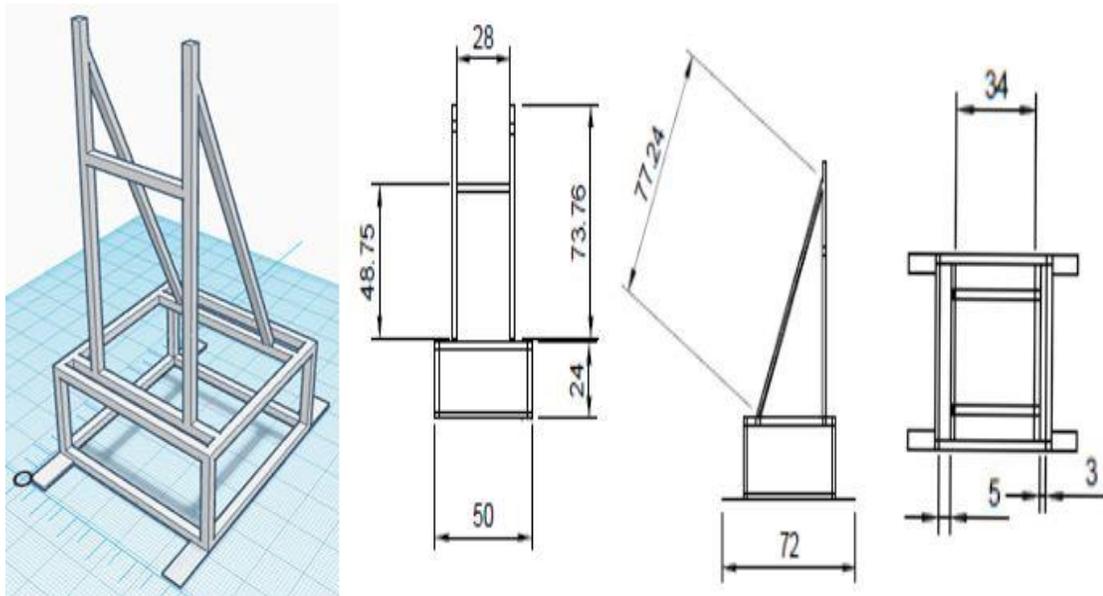
*Fuente: Propia*

### 3.1.5 BASE

La Base es la estructura principal en la cual se encuentra puesto todo el sistema eléctrico de aprovechamiento de la energía solar y el sistema electrónico encargado del control de los motores, interpretación de la señal sensorial y envío de información pertinente para este trabajo.

La base está comprendida de una parte en forma de caja la cual sirve para el almacenamiento y una elevación donde se coloca el agarre, eje de rotación, piñones, aspas, paneles y sensores implementados; En la parte inferior posee en cada una de sus esquinas una ampliación hecha con platina, la cual sirve para agarrar la base al suelo dándole más estabilidad al sistema total y evitando que bajo cualquier circunstancia se mueva como se puede apreciar en la figura.

*Fig. 16 Base de la estructura medida en centímetros (cm).*

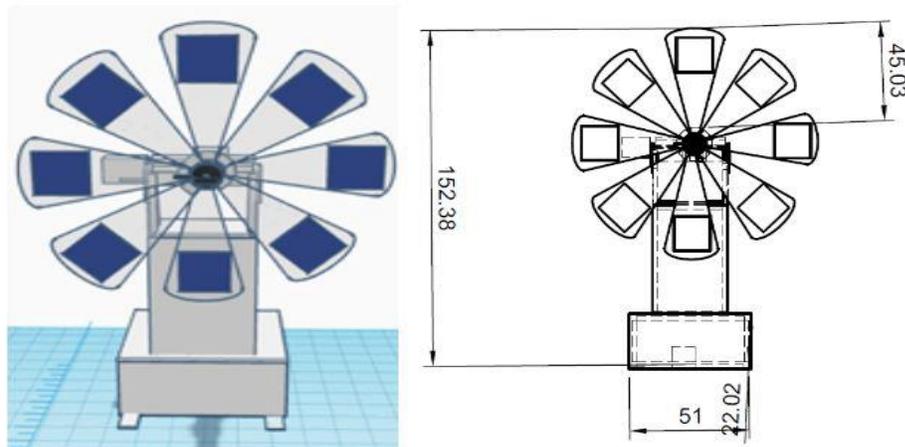


*Fuente: Propia*

### **3.1.6 DISEÑO FINAL**

Una vez realizada cada una de las piezas y juntando las mismas, tenemos el diseño final al cual le agregamos un recubrimiento, evitando así que las piezas eléctricas y electrónicas se vean expuestas a las condiciones climáticas que enfrente el sistema Smart Flower, además de darle una apariencia más agradable haciendo del prototipo uno que satisfaga el deseo personal de obtener algo diferente a lo usual, tal como se ve en la siguiente figura.

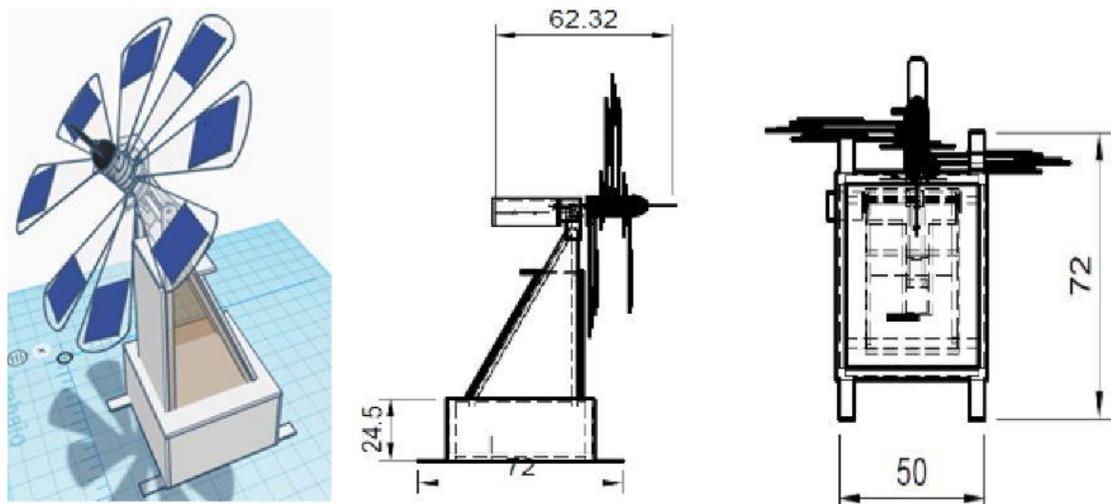
Fig. 17 Diseño final prototipo sistema Smart Flower medida en centímetro (cm)



Fuente: Propia

Como anteriormente se mencionó, la estructura tiene como misión hacer el seguimiento al sol, por lo que se hizo necesario que la misma tuviese partes rotacionales dejando libertad de movimiento a las aspas, por tanto, las misma pueden realizar el seguimiento al sol de forma constante durante el día, como se ve en la imagen a continuación.

Fig. 18 Diseño final 45° de inclinación con respecto al eje horizontal medida en centímetro (cm).



Fuente: Propia

### 3.1.7 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO FÍSICO

Una vez realizado el modelo 3D del prototipo se procede a la elaboración del mismo teniendo en cuenta que las piezas cumpla los tamaños y parámetros del diseño, se hizo el trabajo de soldadura de los ángulos para completar la base iniciando desde la caja de almacenamiento del equipo eléctrico y electrónico hasta la parte superior donde se ubica el agarre, una vez terminado se pinta con anticorrosivo de forma tal que la estructura no sufra daños a futuro a causa de la humedad, como se ve a continuación.

*Fig. 19 Base estructura*



*Fuente: Propia*

Luego de eso se procede a realizar los piñones, estos necesitan tener una forma específica por lo que se hizo necesario el solicitar que se realice de forma externa bajo las consideraciones de diseño, estos piñones fueron hechos de aluminio

puesto que este material reduce significativamente la carga en peso con respecto a la densidad requerida en cada uno de estos elementos, además de incluir una balinera en el centro de los mismos para disminuir la fricción que se presentaría entre esta y la varilla central, como se observa a continuación.

*Fig. 20 Piñones*



*Fuente: Propia*

Además de ir incluyendo divisiones y compartimientos en la parte inferior para ubicar de forma separadas los sistemas eléctricos y electrónicos disminuyendo la posibilidad de que el uno pueda ser causante de fallas con respecto al otro e instalar el agarre base junto con el eje de rotación, acomodar los piñones y poner recubrimientos para tener protegido el sistema como se ve en la imagen a continuación.

*Fig. 21 Diseño físico final.*



*Fuente: Propia*

## **3.2 DISEÑO ELÉCTRICO**

El sistema eléctrico fotovoltaico es aquel que aprovecha la radiación solar como se enunció anteriormente en el marco teórico, para dicho aprovechamiento se hace necesario el uso de diferentes elementos los cuales cumplen con una misión funcional en este proceso, por tanto, usualmente un sistema solar fotovoltaico autónomo está comprendido: por paneles solares, regulador de carga, inversor de voltaje y baterías además de las protecciones necesarias.

### **3.2.1 CONFIGURACIÓN PANELES SOLARES**

Los paneles se distribuyen en 8 aspas manejando cada uno una potencia de 5W y un voltaje de 0.5V cada una por lo que se hace necesario incrementar el voltaje lo suficiente para operar, por lo que se realiza una configuración en serie de las células solares

En la selección de los paneles el uso de paneles mono-cristalinos nos mejora la eficiencia dado que al calcular la eficiencia de los mismos con la siguiente formula:

$$\eta = \frac{FF \times P_{max}}{G \times A_c} \times 100 = 17.46\%$$

Formula. 1. Calculo de eficiencia células solares

Siendo

FF = factor de forma (0,85) panel monocristalino

$\eta$  = eficiencia o rendimiento de conversión

G = irradiancia en condiciones estándar (1000W/m<sup>2</sup>)

P<sub>max</sub> = potencia máxima (W)

A<sub>c</sub> = Área superficial de la célula (m<sup>2</sup>)

Al realizar una configuración en serie obtenemos que la corriente se conserva igual mientras va subiendo el voltaje hasta alcanzar un valor estimado de 4V.

Teniendo en cuenta que para el cálculo del voltaje se realiza la siguiente ecuación:

$$U_m = N_s \times U_c$$

Formula. 2. Voltaje modulo solar

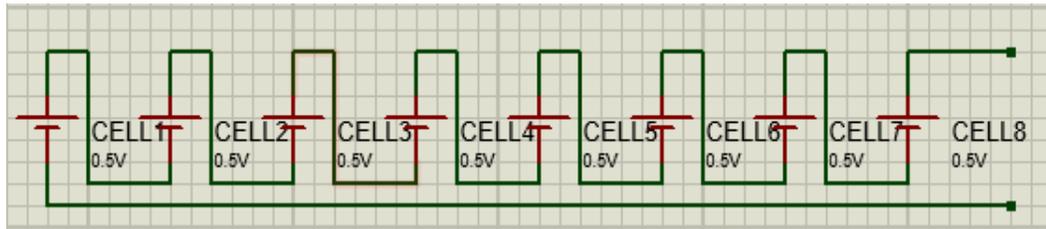
Sabiendo que:

U<sub>m</sub> = tensión del módulo (V)

U<sub>c</sub> = tensión en cada célula (V)

N<sub>s</sub> = número de células asociadas

Fig. 22 Configuración paneles en serie



Fuente: Propia

Al realizar el cálculo de potencia obtenemos que la misma alcanza los 40W sabiendo que la potencia es:

$$P_m = N_s \cdot N_p \cdot P_c$$

Formula. 3. Potencia panel solar

Sabiendo que:

$P_m$  = Potencia del modulo

$P_c$  = Potencia de la célula

$N_s$  = número de células en serie

$N_p$  = número de células en paralelo

Al realizar toma de muestras con un elemento de medición se obtiene los siguientes valores de voltaje, corriente y potencia:

$$V_{\text{circuitoabierto}} = 0.57 \text{ V}$$

$$I_{\text{cortocircuito}} = 9,3 \text{ A}$$

$$\text{Potencia} = 0.57 \text{ V} \times 9,3 \text{ A} = 5.3 \text{ w}$$

### 3.2.1.1 LIMPIEZA DE LOS PANELES

Para mantener la eficiencia de los paneles solares se hace necesario el mantenerlos limpios, ya que la obstrucción de la luz en una o varias celdas afecta el sistema en general por eso se debe remover ocasionalmente el polvo, además de

limpiar la superficie usando agua y jabón con un pH neutro evitando el uso de materiales de limpieza fuertes y detergentes, esta limpieza se debe realizar en horas de la noche donde los paneles no se encuentren expuestos a la luz del sol de forma que se eviten los cambios bruscos de temperatura.

La limpieza se recomienda realizar entre 3 o 4 veces al año dependiendo del polvo en la zona de instalación siempre y cuando no se presente una ocasión inesperada que cause suciedad extra en el sistema.

### **3.2.2 SELECCIÓN CONTROLADOR DE CARGA**

Al seleccionar el controlador de carga se tiene en cuenta los parámetros de los paneles anteriormente indicados de voltaje y corriente dado que dicho controlador debe soportar los picos máximos de energía suministrada para el aprovechamiento de la misma, por tanto:

- Voltaje de operación del regulador  $V_{in} = 12V$
- Corriente Soportada  $I > 4 A$

Los controladores de carga se encuentran PWM (modulación por ancho de pulso) dejan pasar corriente del panel a la batería de forma continua hasta que esta esté completamente cargada, una vez llega al 100% de la carga desconecta completamente la batería,

#### **3.2.2.1 VENTAJAS:**

- Economía
- Duran bastante tiempo en degradar su funcionamiento
- Sufren poco estrés térmico
- Ergonómicos por lo cual fácil de ubicar

### **3.2.2.2 DESVENTAJA:**

- valor nominal de voltaje que provee la salida de los paneles debe ser igual al valor de carga de la batería por lo que se debe tener cuidado en su instalación.
- no pueden ser usados para paneles de más de 60 células, en el caso del prototipo creado resulta ser conveniente y se adapta al proyecto.

### **3.2.3 SELECCIÓN BATERÍAS**

Para la elección de batería se tuvo en cuenta el voltaje suministrado por los paneles el cual es de 12V regulados por tanto tomamos una batería que maneje el mismo voltaje además del hecho que consideramos diseñar el proyecto para mantener el suministro de energía durante 9 horas diarias, para tal fin se hace necesario que la batería pueda cumplir con la función encomendada.

Teniendo en cuenta lo anterior se elige una batería 12V a 9A para realizar dicho almacenamiento.

#### **3.2.3.1 MANTENIMIENTO BATERÍA**

- La batería no debe ser expuesta a rayos director del sol, evitar colocarla en zonas abiertas y que tenga contacto con el agua, dado que esto disminuiría la vida útil de las mismas.
- Limpiar la cubierta con grasa antioxidante para evitar la sulfatación.

### **3.2.4 SELECCIÓN INVERSOR**

Para escoger el inverso se tiene en cuenta la potencia máxima de operación para lo cual podemos tener en cuenta que el suministro de energía se puede hacer tanto por panel como por batería que en este caso ninguno sobrepasa los 100w por lo cual un inversor superior a 100w puede ser utilizado, para el caso este trabajo se

usó uno de 300w puesto que no se concluyó que hubiese una diferencia en costos en el mercado entre el uno y el otro.

#### **3.2.4.1 MANTENIMIENTO DEL INVERSOR**

- Limpieza, Verificación y/o reemplazo de los filtros y rejillas de entrada y salida de aire (Cada 6 meses).
- Revisión del funcionamiento de los interruptores, fusibles y contactos, en caso de ser necesario reemplazarlos.

#### **3.2.5 ESQUEMA DE INSTALACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL SMART FLOWER**

La instalación se realiza de forma tradicional. Se debe tener en cuenta al conectar al regulador de carga, que lo primero que debe conectarse es el inversor de voltaje, seguido por la batería y por último los paneles solares (Uniando primero el conector negativo y luego el positivo para todos ellos), esto con el fin de cuidar cada uno de los elementos y mantener el buen funcionamiento de los mismos, además de ayudar al regulador a calibrar la entrada de voltaje permitida por parte de los paneles, evitando así que un exceso de energía por parte de los mismos dañe la batería o el inversor

Fig. 23 Sistema eléctrico Smart Flower



Fuente: Propia

**NOTA 1: Al realizar la instalación del sistema fotovoltaico autónomo (SFA) se sugiere que se debe hacer uso de protecciones como el interruptor eléctrico automático para evitar sobrecargas y la instalación de un polo a tierra.**

### 3.2.5.1 REVISIÓN VISUAL

- Hacer revisión bimensual de los paneles para garantizar que no haya daños en la superficie, en la estructura o apoyos entre otros.
- Revisar que las conexiones se encuentren en buen estado, en caso de no ser así realizar el arreglo o cambio de componente si se hace necesario.
- Observar si hay corrosión o degradación visible en la estructura o en sistema en general.
- Revisar la superficie de los componentes (inversor, Regulador, batería, conversor DC/DC entre otros) si hay suciedad sobre las mismas o daño superficial.
- Revisar las fijaciones de la estructura al suelo y nodos de conexión en la estructura verificando que los tornillos estén correctamente fijados evitando así falta de agarre de los mismos, en caso de encontrarlos en estado precario realizar el reemplazo.
- Revisar los aislamientos, en caso de ser necesario realiza el reemplazo.
- Verificar que los componentes estén correctamente ubicados, que no haya humedad, estén limpios y correctamente protegidos de la luz solar directa.

### **3.2.5.2 REVISIÓN DEL CABLEADO (ANUAL)**

- Revisar si hay filtraciones de agua evitando así el daño de componentes.
- Verificar los aislamientos y estados de los cables en las conexiones de los paneles y equipos, en caso de encontrar deterioro o daño realizar el reemplazo.
- Verificar si hay oxido en los empalmes y conexiones o si hay sulfatación en los contactos de presentarse deterioro sustituir.

**NOTA 2: En caso de necesitarse un mantenimiento exhaustivo y puntual se recomienda comunicarse con el fabricante de los equipos, personal capacitado externo, revisar manuales de operación y fichas técnicas de los equipos y componentes de todo el sistema.**

**Si la solución al problema no se encuentra en los manuales, contactar de forma inmediata al fabricante, es recomendable que no se acuda a terceros, personal no autorizado o personas inexpertas, esto con el fin de evitar daños en el sistema y equipos que lo componen, además de que cualquier garantía de la que goce el equipo quedará inválida.**

## **3.3 DISEÑO ELECTRÓNICO**

Al realizar un sistema deseando que este sea SMART se hace necesaria la implementación de circuitos electrónico capaces de controlarlo todo según las necesidades de diseño por lo tanto el mismo debe estar comprendido por sensores, actuadores y controlador teniendo en cuenta lo anterior se hace uso de los siguientes elementos:

### **3.3.1 SENSORES**

Son transductores capaces de convertir magnitudes (variables) físicas o químicas a señales (variables) eléctricas lo que les hace ser posible su tratamiento, para el caso de nuestro prototipo, el mismo debe brindarnos los valores de

temperatura, humedad y velocidad del viento los cuales son fundamentales para el buen funcionamiento del Sistema fotovoltaico autónomo que se realizó.

### 3.3.1.1 SENSOR DE TEMPERATURA LM 35

Son circuitos integrados de precisión que poseen una salida lineal, la cual es proporcional a la temperatura en grados centígrados, lo cual le da ventaja sobre otros sensores de temperatura lineales calibrados en grados kelvin.

La calibración proporciona una precisión típica de +/- ¼°C y de +/- ¾°C a temperaturas menores a -55°C o mayores a +150°C. (A)

*Tabla 1. Datos relevantes sensor LM35*

DATO	VALOR
<b>Voltaje de operación</b>	4V a 30V
<b>Precisión garantizada a 25°C</b>	0,5°C
<b>Temperatura, rango de operación</b>	-55°C to +150°C
<b>Factor de escala lineal</b>	+10.0mV/°C
<b>Corriente de operación</b>	60µA

*Fuente: (TEXAS INSTRUMENTS, s.f.)*

Este sensor se hace necesario para evaluar la eficiencia de los paneles teniendo en cuenta la temperatura ambiente dado que su eficiencia disminuye 0,44% /°C una vez superados los 25°C

Para poder tratar la información obtenida por el sensor de temperatura aprovechamos su linealidad sabiendo que la salida del mismo es una señal analógica de baja potencia por lo que necesita ser amplificada, teniendo en cuenta esto y sabiendo que se desea trabajar con un voltaje de entrada de 5V suministrado por el microcontrolador, y que el mismo toma valores de entrada de 0 a 1023 obtenemos la siguiente formula.

$$Temp = \frac{Sin * 5000}{\frac{1023}{10}}$$

#### Fórmula. 4. ecuación para tratamiento LM35 Arduino

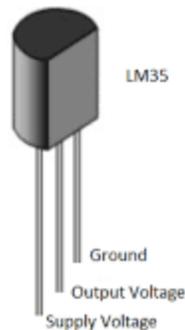
Siendo Sin = señal de entrada al Arduino suministrada por el sensor LM35.

De esta forma la salida en el micro controlado se puede visualizar el valor de temperatura en grados centígrados.

La conexión entre el Arduino y el LM35 es realmente sencilla ya que la misma se hace de forma directa a uno de los puertos analógicos sin que medie el uso de resistencias.

Una vez conectado el sensor se debe tener en cuenta ubicarlo en un lugar donde no se vea afectado por la humedad o temperaturas extremas y además pueda proporcionar una medición en tiempo real de la temperatura ambiente.

*Fig. 24 LM 35*



*Fuente: Propia*

#### **3.3.1.2 ANEMÓMETRO CON SENSOR CNY70**

El anemómetro es un instrumento electrónico que se usa con el fin de medir la velocidad del viento ayudando así a la predicción del tiempo. Usualmente se usa el anemómetro de cabezote con tres aspas para medir la fuerza del viento.

La medición se puede realizar de forma directa teniendo en cuenta el número de vueltas o RPM que se realicen por minuto.

Para este proyecto se realiza la medición de las RPM con un sensor CNY70 el cual es un sensor infrarrojo que puede usarse para ver la variación entre el color blanco y negro de forma tal que al agregar una línea negra en la varilla central y ubicar el sensor cerca de la misma, podemos tomar la velocidad del viento.

*Fig. 25 CNY70*



*Fuente: Propia*

Para convertir estas RPM a KM/h tenemos en cuenta el diámetro de las aspas una vez obtenido este dato usamos la siguiente ecuación en el microcontrolador teniendo en cuenta que en el mismo vamos a tomar por interrupción durante 2 segundos el valor de la velocidad del viento en revoluciones R para obtener un promedio de RPM.

$$Km = \frac{(R)(30)(2\pi r)(60)}{1000}$$

Fórmula. 5. Ecuación para el tratamiento del CNY70

Dado que el dato se toma durante dos segundos se hace necesario convertirlo a minuto por lo tanto se multiplica por 30 y para pasar a KM/h este valor debe ser multiplicado por 60 que es el número de minutos en una hora y dividido entre 1000 que son la cantidad de metros en un kilómetro.

*Fig. 26 Anemómetro con detección RPM por CNY70*



*Fuente: Propia*

En la implementación el CNY70 puede ser reemplazado por

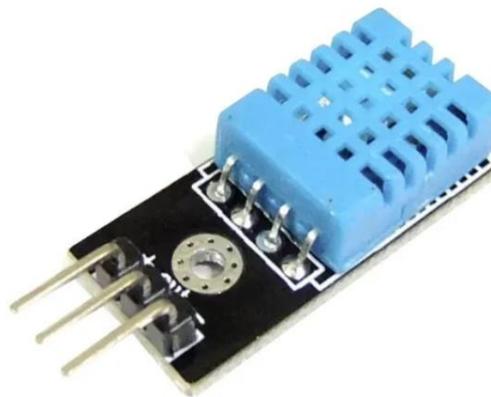
Al comparar el CNY70 con respecto al ENCODER OPTICO, se observa que ambos son sensores infrarrojos con capacidad similar de respuesta al pulso, únicamente diferenciados por el procedimiento de toma de datos, situación en la cual y debido a la estructura del anemómetro y a su bajo costo, en CNY70 percibe una mayor adaptabilidad.

### **3.3.1.3 SENSOR DE HUMEDAD**

Es un sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener

nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las lecturas que se pueden realizar serán, mínimo cada 2 segundos.

*Fig. 27 sensor de humedad DHT11*



*Fuente: Propia*

*Tabla 2. Datos relevantes DHT11*

<b>DATO</b>	<b>VALOR</b>
<b>Voltaje de alimentación</b>	3.3V – 5V
<b>Rango de medición de humedad</b>	20% a 90% RH
<b>Precisión medición humedad</b>	4% RH
<b>Resolución humedad</b>	1% RH
<b>Tiempo de censado</b>	1 Segundo

*Fuente: (ABC PROYECTOS ELECTRÓNICOS|, s.f.)*

#### **3.3.1.4 FOTORRESISTENCIA**

Es un componente electrónico cuya resistencia se ve alterada dependiendo de la intensidad de la luz a la que se ve expuesta.

Su función en este proyecto es de suma importancia puesto que es el elemento principal para realizar el seguimiento solar, esto lo hace mediante el uso de 2 foto resistencias separadas por una placa perpendicular delgada la cual causa una sombra sobre una de las 2 caras en llegado caso de que las mismas no se encuentren alineadas con respecto al sol, emitiendo diferentes señales analógicas debido a esta sombra.

Para el proceso de control de las mismas se tiene en cuenta un porcentaje diferencial de  $\pm 5\%$  del valor de salida debido a la tolerancia de las resistencias, considerando así que mientras el valor de salida esté dentro de ese porcentaje se presenta una buena nivelación lumínica.

*Fig. 28 foto resistencias con separación*



*Fuente: Propia*

### **3.3.2 ACTUADORES**

Contrario a los sensores y en base al desarrollo del proyecto, los actuadores pueden tomarse como aquellos que permiten la conversión de la energía eléctrica para influir sobre un proceso de forma directa generando un movimiento y haciendo posible la automatización del mismo, disminuyendo la dependencia de entes externos.

Para nuestro sistema se implementó dos actuadores comprendidos por un motor DC con caja de moto reducción y un servo motor de  $160^\circ$  de movimiento.

### **3.3.2.1 MOTOR DC**

Un motor DC es aquel que convierte la corriente continua a energía mecánica, provocando un movimiento rotatorio gracias a la acción de campos magnéticos sobre un rotor.

Como parte del diseño del proyecto se usa este motor con la finalidad de realizar la apertura y cierre de las aspas, acto que es manejado desde el microcontrolador por tiempo, teniendo en cuenta la velocidad de torsión del mismo y cuanto le acarrea realizar un movimiento de apertura desde el eje inicial al que llamamos eje 0° hasta el eje final de 315° permitiendo así una apertura total de las aspas teniendo en cuenta que una de ellas permanece fija en su ubicación gracias al diseño del pie – amigo anteriormente mencionado en el diseño mecánico del eje de rotación.

Además de lo anteriormente mencionado se debe tener en cuenta el peso del sistema piñones – aspas lo que aumenta la carga al motor haciendo necesario el uso de una caja de moto reducción que nos ayude como soporte.

### **3.3.2.2 SERVO MOTOR**

Es un motor con accionamiento de control preciso de velocidad y posicionamiento lo cual nos permite un mejor manejo de ubicación con respecto a un motor dc convencional.

Este motor posee en su interior un encoder, que convierte el movimiento mecánico en pulsos digitales además de un driver encargado de comandar la posición, torque y velocidad.

Al usar la librería <servo.h> podemos desde el microcontrolador Arduino dar indicaciones a este motor de ubicación con precisión lo que nos permite mayor estabilidad del sistema y un mejor posicionamiento de los paneles con respecto a la ubicación del sol.

Este motor se instala en el eje de rotación según las consideraciones de diseño y se debe tener en cuenta que el mismo debe soportar el peso de las aspas los piñones y el motor DC para disminuir tal carga se hizo necesaria la implementación de un contrapeso el cual nos equilibra el sistema.

*Fig. 29 Servomotor*



*Fuente: Propia*

*Tabla 3. Datos relevantes servomotor*

<b>DATO</b>	<b>VALOR</b>
<b>Modelo</b>	Td-8120mg
<b>Torque</b>	20,5kg/cm (4.8V), 22,8kg/cm (7.2V)
<b>Voltaje de entrada</b>	4.8 – 7.2V
<b>Velocidad de Operación (4.8V sin carga)</b>	0.18 seg / 60 grados
<b>Velocidad de Operación (7.2V sin carga)</b>	0.14 seg / 60 grados
<b>Tamaño</b>	40,0 x 20,5 x 40,5 mm
<b>Ángulo de Rotación</b>	360° máximo
<b>Material engranajes</b>	Metal
<b>Pulso ciclo</b>	20mS
<b>Ancho del pulso</b>	entre 500uS y 2500uS
<b>Rango de Temperatura</b>	-25 a +80 °C

*Fuente: (sunfounder, s.f.)*

## CALCULO DE POTENCIA MOTORES

El cálculo de potencia del motor se realiza mediante la siguiente formula tanto para el servo como para el motor DC.

$$P_{instantanea} = V \times I_A = 1,1 W$$

$$P_{establecimiento} = V \times I_A = 0,9 W$$

Una vez tomados los datos mediante instrumento de medición, Siendo:

$V = 5 V$  (Voltaje de funcionamiento)

$I_A = 220mA$  (Corriente de arranque)  $I_e = 180mA$  (Corriente de establecimiento)

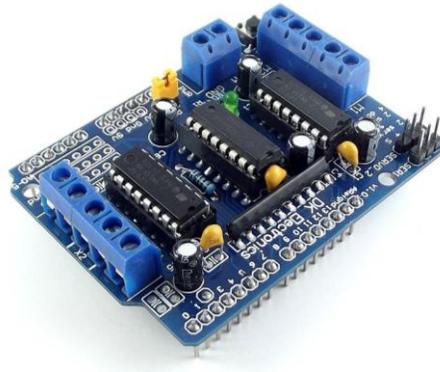
Una vez se obtienen los datos de potencia estos datos sirven para la selección la controladora de motor la cual se enuncia a continuación.

### 3.3.2.3 SHIELD MOTOR DRIVE L293D

Fue diseñado para facilitar el control de motores con el embebido Arduino. Este shield nos facilita el control de hasta 4 motores DC o 2 motores paso a paso unipolares o bipolares y 2 servomotores pequeños (SG90 o MG90). Posee dos drivers puente H L293D manejados por un Chip conversor serial a paralelo 74HC595, reduciendo notablemente el uso de pines de Arduino. El Shield es compatible con Arduino Uno, Mega y Leonardo.

El conversor 74HC595 expande 4 pines (4,7,8,12) de Arduino a 8 pines necesarios para manejar la dirección de los drivers L293D. Las señales "Enable" de los drivers están conectadas directamente a pines PWM de Arduino (3,5,6,11), permitiendo controlar la velocidad de los motores

*Fig. 30 Shield Motor L293D*



*Fuente: Propia*

Este Shield motor L293D posee

Voltaje de potencia (motores): 4.5V-24V DC

Corriente DC por canal: 600mA

Corriente pico por canal: 1.2A

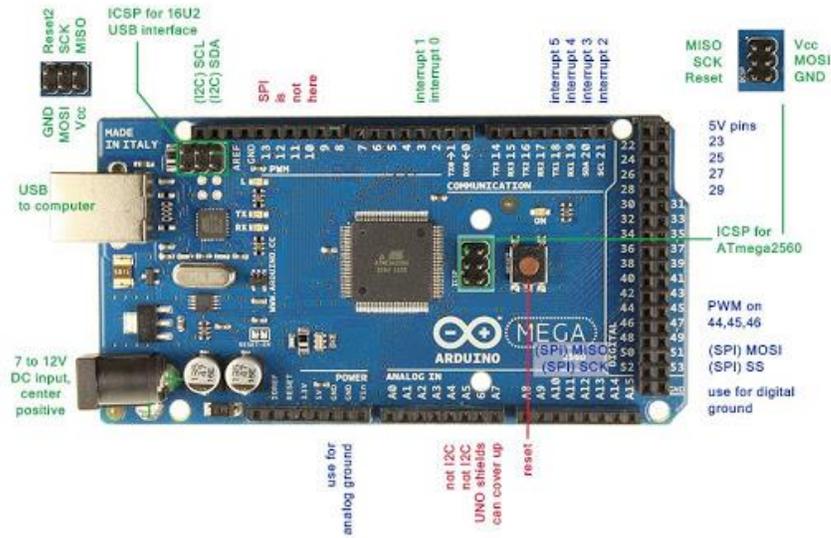
Lo que se adapta a las necesidades de diseño.

### **3.3.3 MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA**

Es un circuito embebido con un microcontrolador integrado programable capaz de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria.

Esta placa es desarrollada basada en un microcontrolador ATmega 2560 la cual posee 54 entradas/salidas digitales, entre las cuales 15 pueden ser usadas como puertos PWM, además de 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, Jack para alimentación DC, conector ICSP y un botón de reseteo, Además de que esta placa es compatible con prácticamente todas las shield de Arduino uno como se ve en la siguiente imagen. (c)

Fig. 31 Arduino Mega y sus partes



Fuente: Propia

Tabla 4. Datos relevantes Arduino mega

DATO	VALOR
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de entrada	6V a 12V
Pines digitales in/out	54
Pines de entrada análogas	16
Corriente DC por pin	40mA
Corriente DC en pin 3.3V	50mA
Memoria flash	256 KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Clock speed	16MHz

Fuente: (Robotshop, s.f.)

*Tabla 5 Comparación microcontroladores*

	ENTRADA (V)	OPERACIÓN (V)	I/O DIGITAL	INT ANALOG	CORRIENTE (mA)	SRAM	EEPROM	CLK (MHz)	TIMER
PIC16F877A	3 – 5,5	2 – 5,5	33	8	25	368B	256B	20	3
PIC18F4550	3 – 5,5	2 – 5,5	35	13	25	2KB	256B	48	4
ARD. UNO	5 – 12	5	14	6	20	2KB	1KB	16	3
ARD. MEGA	5 – 12	5	54	16	20	8KB	2KB	16	6
PSoC5LP	0,5 - 6	1,7 – 5,5	62	3	25	64KB	2KB	80	4

*Fuentes:* (Microchip, s.f.) (Robotshop, s.f.) (cypress, s.f.)

La selección del microcontrolador se hizo teniendo en cuenta especificaciones técnicas, posibilidad de conseguir en el mercado local, costo total de implementación y que se adapten a las necesidades y criterios de diseño.

Además, el Arduino posee una plataforma más flexible y de poseer códigos y librerías lo que nos facilita el trabajo, la elección del Arduino mega con respecto al Arduino uno, es la cantidad de puertos de entrada y salida que posee lo que me da mayor libertad al realizar las conexiones.

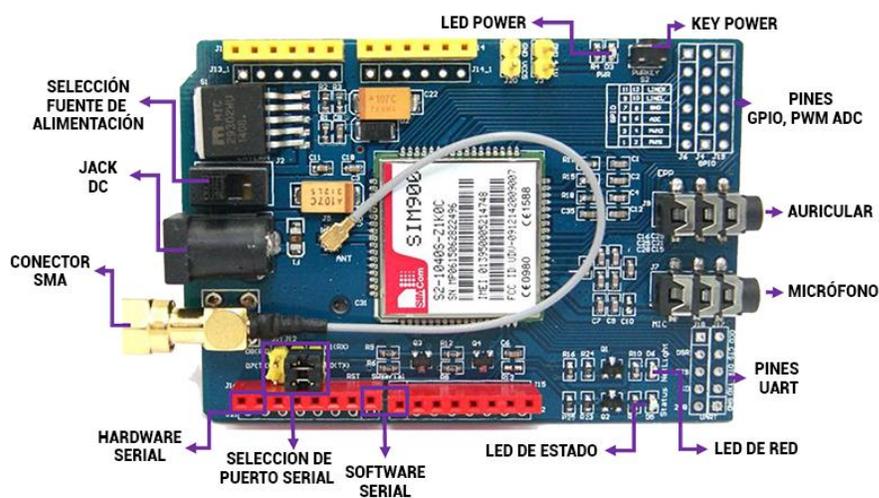
### **3.3.4 COMUNICACIÓN SIM900**

Para la transmisión de datos fue eficaz la implementación del módulo sim900 que al ser compatible con la tarjeta de desarrollo Arduino, me permite funcionar bajo comandos de fácil uso.

El código de lectura usado por este módulo se denomina comandos AT, los cuales son emitidos desde el Arduino, una vez enviados el sim900 mediante conexión por medio de GSM/GPRS envía los datos a un receptor para nuestro caso un celular donde en caso de que un factor externo llámese lluvia o vientos fuertes pueda afectar el sistema, se emite una alerta por medio de mensaje de texto al celular indicado para tal fin, con la intención de alertar de tal suceso, en dicho mensaje va enmarcado, ubicación del panel, temperatura ambiente, humedad y velocidad del viento en ese momento.

Este módulo tiene 12 GPIO, 2 PWM y un ADC, trabaja en las bandas GSM de 850/900/1800/1900MHz. Todo lo que necesitas para hacer funcionar el modulo es conectar una tarjeta SIM

Fig. 32 Módulo SIM900



Fuente: Propia

Tabla 6. Datos relevantes SIM900

DATO	VALOR
Redes accesibles	GSM/GPRS
Voltaje de alimentación	5V – 12V
Voltaje de funcionamiento	5V
Líneas soportadas	850/900/1800/1900 MHZ
Soporte descarga de datos	85,6 Kbps
Soporte carga de datos	42,8 Kbps
Temperatura de funcionamiento	30 °C a + 80 °C

Fuente: (simcom, s.f.)

### 3.3.5 ELECTRÓNICA APLICADA CONVERTOR DC/DC

El convertor DC/DC elevador obtiene una salida de tensión mayor al voltaje de entrada y regularlo, lo que permite mantener un voltaje de salida constante independiente de las perturbaciones o alteraciones que se puedan presentar en la entrada, haciéndolo útil para ser usado en paneles solares.

Para el caso del prototipo se hace necesario dado que la tensión de salida de la configuración de los paneles solares es en gran medida inferior a la tensión solicitada por la batería, lo que nos impide realizar un acople de forma directa, por lo tanto, se usa este convertor para realizar la elevación de tensión.

Debido a la potencia de trabajo de los paneles la selección del elevador de tensión se realiza llegando a elegir para tal fin el Modulo Elevador DC - DC XI6009 Tipo Boost Convertor.

*Fig. 33 Modulo Elevador DC - DC XI6009*



*Fuente: Propia*

Tabla 7. Datos relevantes Modulo Elevador DC - DC XI6009

DATO	VALOR
Voltaje de entrada	3V – 32V
Voltaje de salida (ajustable)	5V – 35V
Regulación de Voltaje	+/- 0.5%
Amperaje máximo de salida	3 A
Temperatura de operación	-40°C~85°C
Eficiencia	~90%
Frecuencia de operación	400KHz

Fuente: (XLSEMI, s.f.)

### 3.3.6 MODULO DE POSICIONAMIENTO GPS NEO 6M

Módulo GPS especialmente diseñado para Arduino y microcontroladores, basado en el receptor de la marca Ublox modelo NEO 6M, este módulo incluye su antena cerámica para colocarse directamente sobre el PCB, por lo que ya viene listo para operar sin requerir más accesorios.

El GPS puede funcionar con un voltaje de alimentación en el rango de 3.0 a 5.0 volts, mientras que las señales que entran y salen son de 3.3 volts, por lo que se requiere un convertidor de niveles si un Arduino o microcontrolador de 5 volts va a comunicarse (transmitir) hacia el módulo GPS. Si solamente se desean recibir los datos NMEA basta con conectar el pin TX con el RX de Arduino y recibir los datos que envía el módulo, en este caso, no hace falta conversión de niveles por que el Arduino reconoce los 3.3 volts como nivel alto.

Fig. 34 GPS NEO 6M



Fuente: Propia

Tabla 8. Datos relevantes GPS NEO 6M

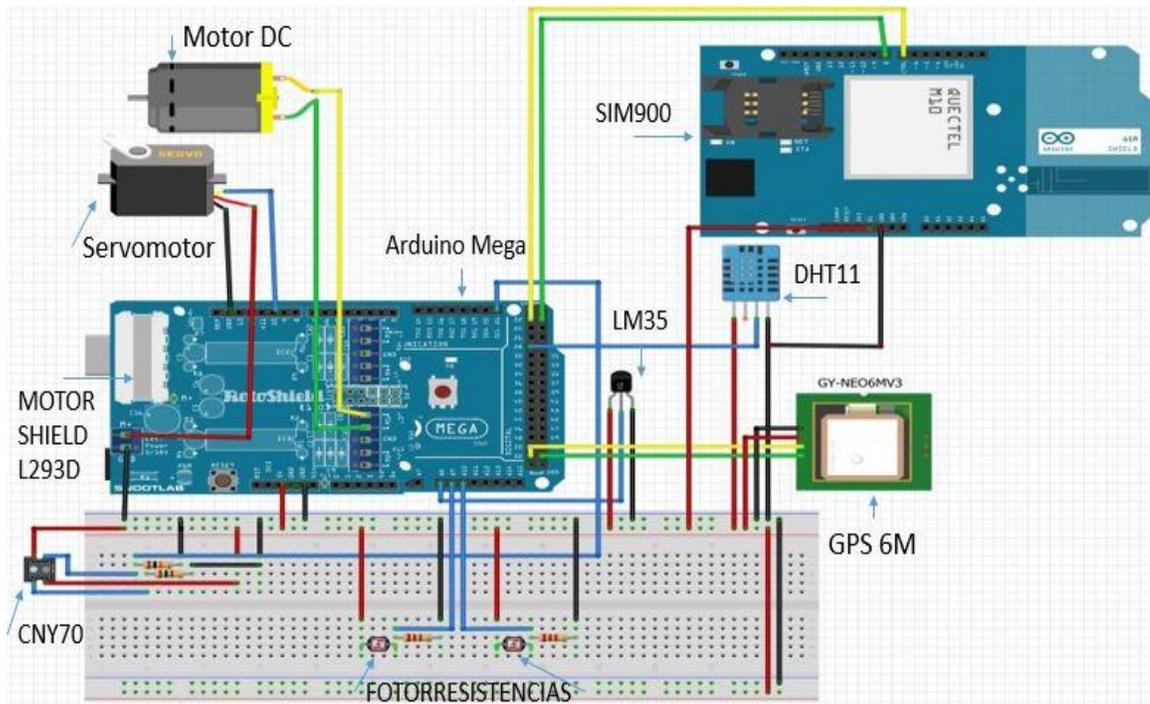
DATO	VALOR
Voltaje de alimentación	3.5V a 5V
Sistema de coordenadas	WGS-84
Máxima altura medible	18000
Exactitud	1micro segundo
Frecuencia receptora	L1 (1575.42 MHz)
Tiempo de inicio primera vez	38s en promedio
Sensibilidad de captura	-148dBm

Fuente: Hoja de Datos (u-blox, s.f.)

### 3.3.7 ESQUEMÁTICO INSTALACIÓN ELECTRÓNICA

Después de identificar los componentes que conforman el sistema electrónico se procede al cableado del mismo haciendo las conexiones necesarias para su funcionamiento óptimo teniendo en cuenta las consideraciones de diseño como se ve en la figura a continuación, para así proceder a la programación del SFA y poder obtener resultados.

Fig. 35 esquemática instalación electrónica.



Fuente: Propia

Una vez obtenidos los componentes se realiza el análisis de consumo de cada componente con medición real de la potencia de salida mediante el uso de instrumento de medición.

Tabla 9 Consumo de los componentes

COMPONENTE	CONSUMO (W)
CNY70	0.1
LM35	0.05
DHT11	0.005
FOTORRESISTENCIA X2	0.2
MOTOR DC	0.9
SERVOMOTOR	0.9
ARDUINO MEGA	0.2
MOTORSHIELD L293D	0.005
GPS	66m
SIM900	9.6

Fuente: Propia

### 3.4 LÓGICA DIFUSA Y PROGRAMACIÓN

#### 3.4.1 LÓGICA DIFUSA

Una vez organizado el circuito eléctrico y electrónica se procede al diseño del controlador, como anteriormente se menciona en este texto, la dirección de los paneles está controlada mediante la variación de la intensidad lumínica que se obtiene mediante dos fotorresistencias o LUZ1 Y LUZ2 las cuales en nuestra lógica difusa ingresan como variables lingüísticas de entrada, y de salida sería el control de la ubicación del panel por medio de un motor o VARIACION el cual será nuestra variable de salida.

VARIABLES LINGÜÍSTICAS DE ENTRADA:

- LUZ1
- LUZ2

VARIABLE LINGÜÍSTICA DE SALIDA:

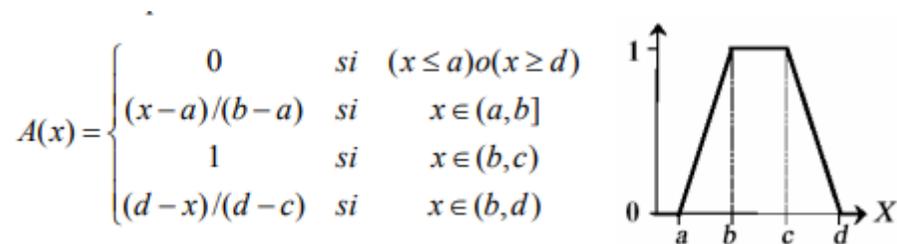
- VARIACION

#### REGLA DE INFERENCIA DIFUSA

Función de membresía

Forma trapezoidal

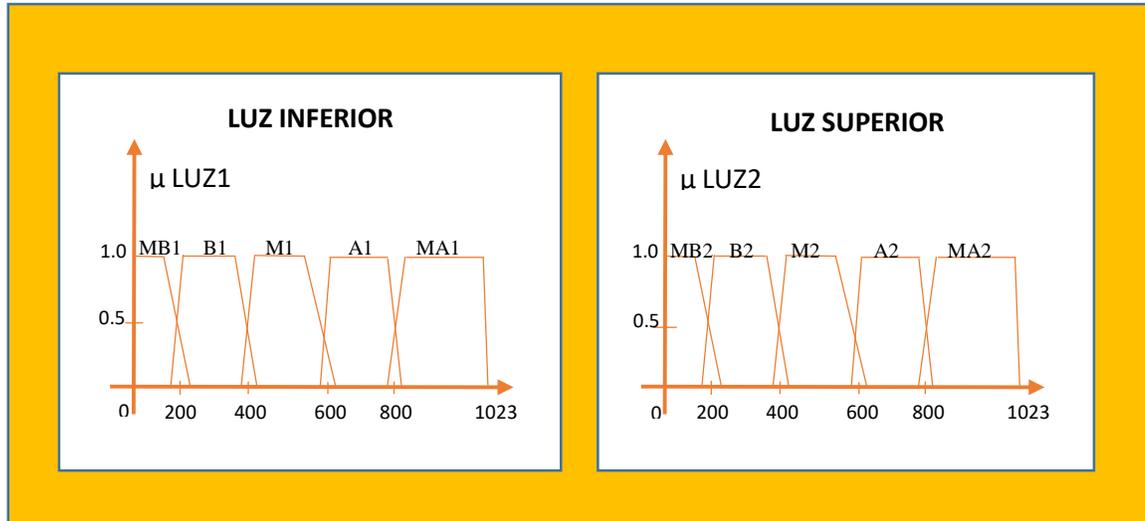
Fig. 36 Forma trapezoidal



Fuente: J. Jantzen, H. Verbruggen, J.-J. Ostergaard [11].

## Funciones de pertenencia de entrada

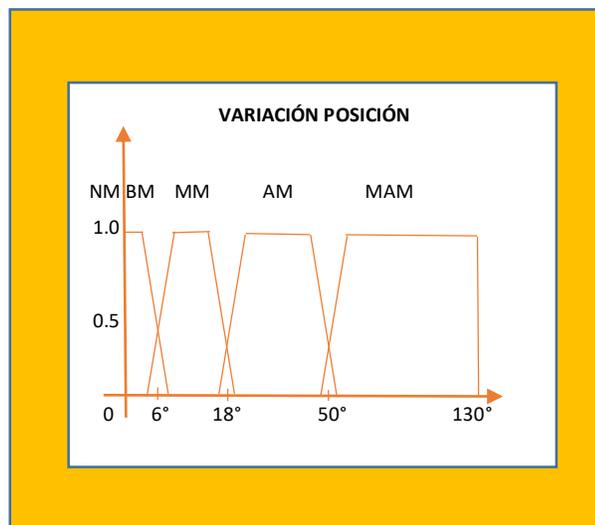
Fig. 37 Funciones de entrada



Fuente: Propia

## Función de pertenencia de salida

Fig. 38 Función de salida.



Fuente: Propia

Siendo:

Variables de entrada

MB = Muy bajo [0 0 161 234]

B = Bajo [161 234 364 442]

M = Medio [364 422 561.6 635]

A = Alto [583 643 759 832.2]

MA = Muy alto [773 851.1 1023 1023]

Variable de salida

NM = No mover [0 0 0 0]

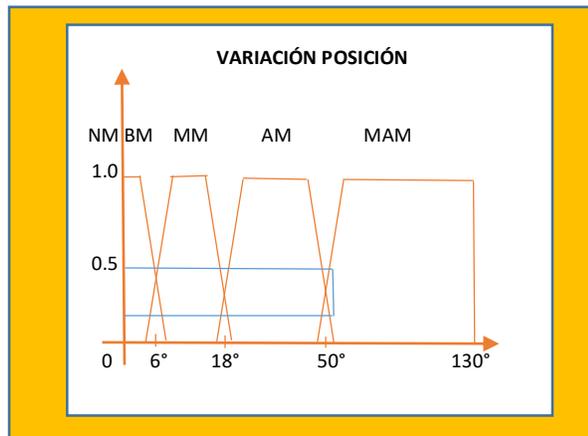
BM = Bajo movimiento [0 0 5 7]

MM = Medio movimiento [5 8 15 18]

AM = Alto movimiento [15 19 46 54]

MAM = Muy alto movimiento [45 57 130 130]

Fig. 39 Variable de posición censado



Fuente: Propia

Para variación de 52°

$$\mu_{MAM}(52^\circ) = 0.46$$

$$\mu_{AM}(52^\circ) = 0.2$$

$$\mu_{MM}(52^\circ) = 0.0$$

$$\mu_{BM}(52^\circ) = 0.0$$

$$\mu_{NM}(52^\circ) = 0.0$$

Siendo así que para 52°  $\mu(52^\circ) = [0.46, 0.2, 0.0, 0.0, 0.0]$

Tabla 10. Regla de inferencia difusa.

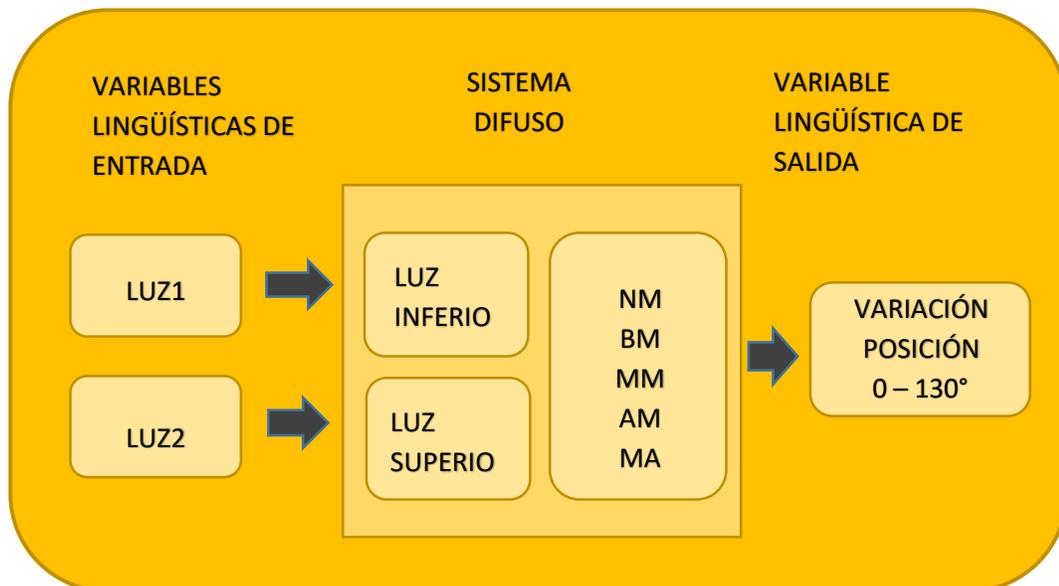
		LUZ2				
		MB2	B2	M2	A2	MA2
LUZ1	MB1	NM	BM	MM	AM	MAM
	B1	BM	NM	BM	MM	AM
	M1	MM	BM	NM	BM	MM
	A1	AM	MM	BM	NM	BM
	MA1	MAM	AM	MM	BM	NM

Fuente: Propia

Defusificación por criterio de máximos (MC): La salida es aquella para la cual la función de membresía alcanza su valor máximo.

### Sistema de control difuso

Fig. 40 Sistema de control difuso



Fuente: Propia

## Toma de decisiones

Fig. 41 Toma de datos



Fuente: Propia

### BASE DE REGLAS MEDIANTE METODO MANDAMI

```
if LUZ1 is MB1 AND LUZ2 MB2, THEN VARIACION is NM
if LUZ1 is B1 AND LUZ2 MB2, THEN VARIACION is +BM
if LUZ1 is M1 AND LUZ2 MB2, THEN VARIACION is +MM
if LUZ1 is A1 AND LUZ2 MB2, THEN VARIACION is +AM
if LUZ1 is MA1 AND LUZ2 MB2, THEN VARIACION is +MAM
if LUZ1 is MB1 AND LUZ2 B2, THEN VARIACION is -BM
if LUZ1 is B1 AND LUZ2 B2, THEN VARIACION is NM
if LUZ1 is M1 AND LUZ2 B2, THEN VARIACION is +BM
if LUZ1 is A1 AND LUZ2 B2, THEN VARIACION is +MM
if LUZ1 is MA1 AND LUZ2 B2, THEN VARIACION is +AM
if LUZ1 is MB1 AND LUZ2 M2, THEN VARIACION is -MM
if LUZ1 is B1 AND LUZ2 M2, THEN VARIACION is -BM
if LUZ1 is M1 AND LUZ2 M2, THEN VARIACION is NM
```

```

if LUZ1 is A1 AND LUZ2 M2, THEN VARIACION is +BM
if LUZ1 is MA1 AND LUZ2 M2, THEN VARIACION is +MM
if LUZ1 is MB1 AND LUZ2 A2, THEN VARIACION is -AM
if LUZ1 is B1 AND LUZ2 A2, THEN VARIACION is -MM
if LUZ1 is M1 AND LUZ2 A2, THEN VARIACION is -BM
if LUZ1 is A1 AND LUZ2 A2, THEN VARIACION is NM
if LUZ1 is MA1 AND LUZ2 A2, THEN VARIACION is +BM
if LUZ1 is MB1 AND LUZ2 MA2, THEN VARIACION is -MAM
if LUZ1 is B1 AND LUZ2 MA2, THEN VARIACION is -AM
if LUZ1 is M1 AND LUZ2 MA2, THEN VARIACION is -MM
if LUZ1 is A1 AND LUZ2 MA2, THEN VARIACION is -BM
if LUZ1 is MA1 AND LUZ2 MA2, THEN VARIACION is NM

```

Siendo + o – la dirección de giro de motor, de forma tal que pueda que haga un efectivo seguimiento de la luz solar, la validación se realiza de forma experimental.

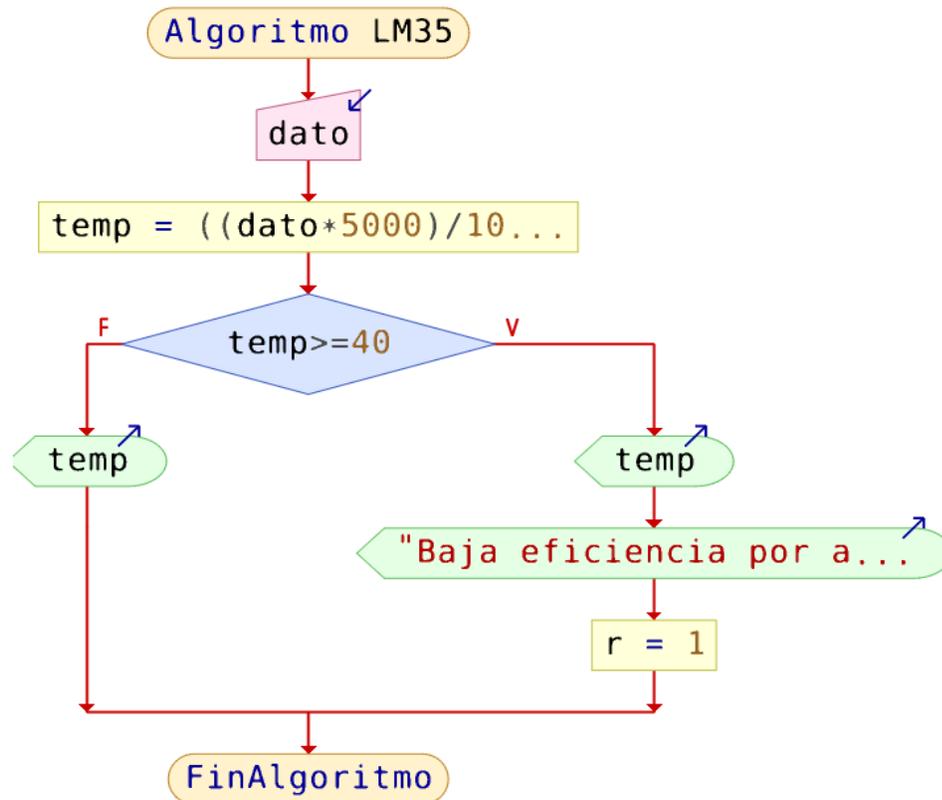
Una vez establecido el universo discurso, las variables lingüísticas y los grados de pertenencia de cada función se realiza la programación en el microcontrolador estableciendo así la función principal del sistema de seguimiento fotovoltaico.

### **3.4.2 PROGRAMACIÓN SENSORES**

#### **3.4.2.1 PROGRAMACIÓN SENSOR DE TEMPERATURA**

La temperatura es una variable necesaria para mantener la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, al punto que por cada grado por encima de los 25° de temperatura ambiente la eficiencia se ve afectada en un mínimo porcentual hasta el punto donde a 40° según datos evaluados por el fabricante su eficiencia disminuye un 20%, para nuestro caso manejaremos un estándar programado como una alerta donde si el ambiente en el que se encuentre instalado el sistema alcanza esa temperatura en aras de preservar el mayor tiempo posible los paneles, estos retornaran a su posición inicial para resguardarse del clima.

Fig. 42 Diagrama de flujo control LM35



Fuente: Autor

### 3.4.2.2 PROGRAMACIÓN SENSOR DE HUMEDAD

A diferencia de la temperatura, el sensor de humedad posee librería en Arduino lo cual nos facilita la conversión de datos, por lo tanto, tomamos el valor de entrada tratado por la librería y ese sería nuestra humedad relativa, para este proyecto se considera un % de humedad mayor a 98% una condición anormal en el ámbito que debido a la nubosidad se hace imposible un aprovechamiento apropiado de la energía solar lo que implica que mantener en funcionamiento el sistema bajo estas condiciones genere más pérdidas que ganancias a nivel energético.

Fig. 43 Diagrama de flujo control DHT11

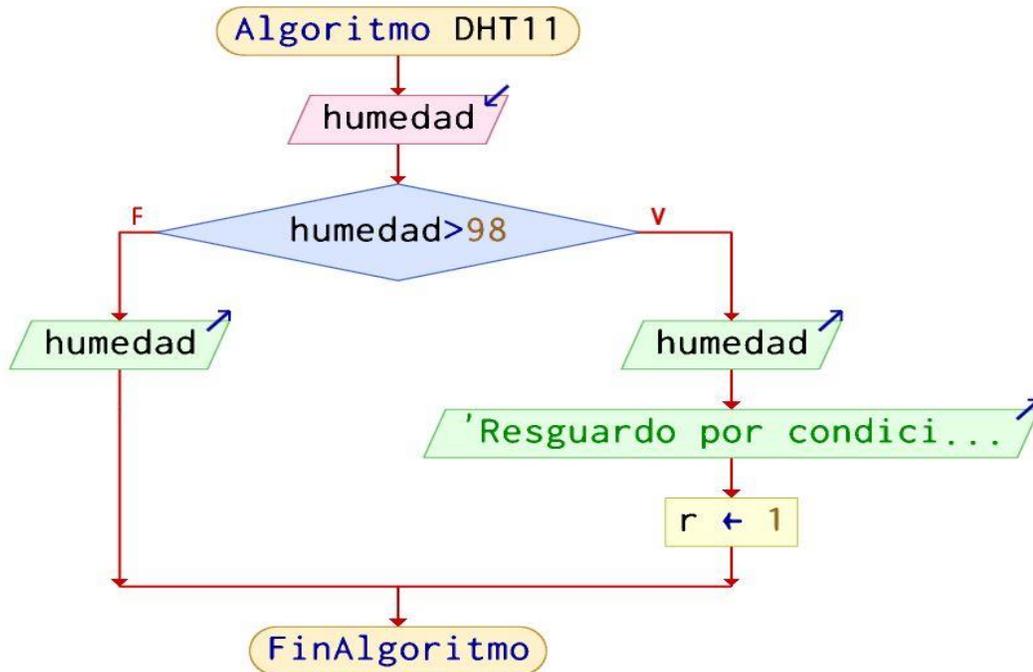


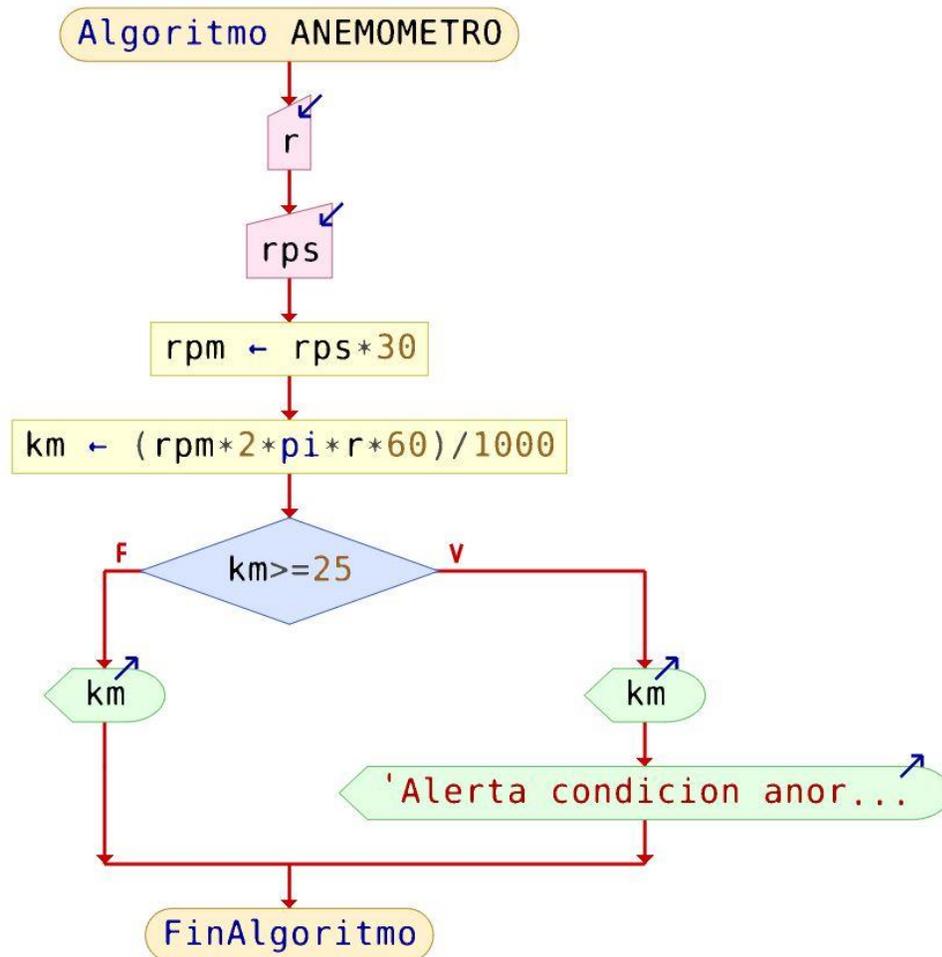
Fig. 44 Diagrama de flujo control DHT11

Fuente: Propia

### 3.4.2.3 PROGRAMACIÓN CNY70 PARA EL ANEMÓMETRO

Este código se realiza tomando muestras durante un tiempo determinado entrándome a la variable de control un total de pulsaciones por segundo lo que me representa revoluciones por segundo, el censado se realiza en dos segundos por lo que el valor para hallar revoluciones por minuto debe modificarse teniendo en cuenta la variable del tiempo:

Fig. 45 Diagrama de flujo control ANEMOMETRO



Fuente: Propia

La velocidad de viento seleccionada como velocidad limite, se debe a un proceso de experimentación en la cual se somete a las aspas a altas velocidades de viento y se evalúa su comportamiento con respecto a las mismas obteniendo así un estándar propio para este prototipo en particular.

A nivel nacional, según artículo publicado en el diario el Tiempo, el Banco magdalena es el municipio que registra mayores velocidades de viento promedio en el año siendo estas de 5,1 m/s lo que nos representa 18,36 Km/h, seguido por San Andrés con velocidad de viento promedio de 4,6 m/s que serían 16.56 Km/h lo cual significa que para

condiciones de viento promedio este prototipo demuestra un funcionamiento robusto para el territorio nacional. [27]

#### 3.4.2.4 PROGRAMACIÓN HORA Y FECHA GPS 6M

Para este proyecto se establece una hora de inicio del monitoreo solar y una hora de resguardo del sistema, actos que deben ser muy precisos y no estar propensos a fallar, por lo que se opta por utilizar un reloj satelital programado mediante el GPS 6M el cual basado en la librería TinyGPS++.h la cual me permite obtener hora y fecha mediante la implementación de los siguientes comandos en el Arduino.

Para obtener la hora:

```
if (gps.encode(SoftSerial.read())) {  
  
    if (gps.time.isvalid ()) {  
        Time [5] = gps.time.hour() / 10 + 48;  
        Time [6] = gps.time.hour() % 10 + 48;  
        Time [8] = gps.time.minute() / 10 + 48;  
        Time [9] = gps.time.minute() % 10 + 48;  
        Time [11] = gps.time.second() / 10 + 48;  
        Time [12] = gps.time.second() % 10 + 48;  
    }  
}
```

Para la fecha:

```
if (gps.encode(SoftSerial.read())) {  
if (gps.date.isvalid ()) {  
    Date [5] = gps.date.day () / 10 + 48;  
    Date [6] = gps.date.day () % 10 + 48;  
    Date [8] = gps.date.month () / 10 + 48;  
    Date [9] = gps.date.month () % 10 + 48;  
    Date [13] =(gps.date.year() / 10) % 10 + 48;  
    Date [14] = gps.date.year () % 10 + 48;  
}  
}
```

### 3.4.3 PROGRAMACIÓN COMUNICACIÓN SIM900

Esta se crea con el fin de informar al usuario en caso de que se presente una condición anormal que afecte el buen funcionamiento del sistema para que el mismo esté informado de que en ese momento se procede a activarse el código de protección de los paneles solares, la comunicación para la SIM900 se realiza por medio de comandos AT y en el caso específico de este programa en el que se realiza el envío por medio de mensaje de texto, el código adecuado para tal fin es el enunciado a continuación:

```
mySerial.print("AT+CMGF=1\r"); // Comando AT para envío de MSN
de texto
delay (100);
mySerial.println("AT + CMGS = \"+57xxxxxxxxxx\"");
delay (100);
mySerial.println(" guardando paneles por condición anormal...");
delay (100);
mySerial.println((char)26);
delay (100);
mySerial.println();
delay (5000);
```

### 3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA CAPACIDAD INSTALADA

*Tabla 11. Ubicación y radiación.*

DATOS PREVIO A LA INSTALACIÓN						
LATITUD DEL LUGAR :			7.0626			
LONGITUD DEL LUGAR:			-73.8344			
RADIACIÓN RECIBIDA (Kw/h)						
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
7.16	6.28	6.16	5.58	5.73	6.05	
JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
6.65	6.46	6.09	5.67	5.91	6.49	

*Fuente: POWER DATA ACCESS VIEWER – NASA*

Tabla 12. Tensión nominal configuración fotovoltaica.

DATOS DE TENSIÓN NOMINAL PARA CONFIGURACIONES FOTOVOLTAICAS	
POTENCIA	TENSIÓN NOMINAL
$P \leq 800W$	12V
$800W < P \leq 1600w$	24V
$1600W < P \leq 3200w$	48V
$P \geq 3200W$	120V o 300V

Al realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo se busca que con él se logre solventar las necesidades básicas del hogar o parte de estas, por tanto, se plantea lo siguiente Sabiendo que:

$HPScrit = 5.25 \text{ h}$  // Horas pico de sol critica

$PMPP = 40w.$  //Potencia máxima panel

$NT=1.$  // número de paneles

$PR = 0,9$  // Rendimiento energético de la instalación

$D_{bat}=0,95$  //Eficiencia de la batería

$D_{inv}= 0,95$  //Eficiencia del inversor

$D_{cond}= 0.95$  //Eficiencia de los conductores

Se establece el siguiente sistema:

$$L_{mdcrit} = NT \cdot PMPP \cdot HPScrit \cdot PR$$

Formula. Cálculo potencia critica en DC

Dándome

$$L_{mdcrit} = 189Wh/d$$

Obteniendo una salida en AC determinada por la ecuación:

$$Lmd, Ac = Lmdcrit1 * \eta_{bat} * \eta_{cond} * \eta_{inv}$$

Formula. 6. Cálculo potencia critica en AC

Dándome

$$Lmd, Ac = 162Wh/d$$

Una vez establecidos estos parámetros podemos elegir los aparatos electrónicos a poner a funcionar.

*Tabla 13. Dispositivos a carga solar*

Instalación, 162wh/d máximo				
aparato eléctrico	potencia unitaria (w)	potencia		energía máxima (w)
		instantánea (w)	tiempo de uso (h)	
1 cargadores celular	5	5	2	10
2 Bombillas				
Ahorrador	5	10	2	20
1 Router	3,3	3,3	16	52,8
1 mini aire	10	10	4	40
1 Circuito de control	0.7	0.7	24	12
1 Servomotor	0.9	0.9	12	16.8
<b>total</b>		<b>38.3</b>		<b>151.6</b>

*Fuente: Propia*

De forma que se puede disminuir las carga eléctrica domiciliaria usada y contribuir con el paso a energías limpias, pero para que esto sea posible se hace necesario calcular la batería a usar:

### 3.5.1 CAPACIDAD DE BATERÍA CON AUTONOMÍA 9 HORAS

$$Lmd.N = 189Wh/d$$

$$P_{dmax} * FTC = 0.7$$

$$Cne(Wh) = \frac{Lmd.N}{P_{dmax} * FTC}$$

Formula. 7. Cálculo potencia batería por un día

Cne(Wh) = 270 Wh equivalente a un día de autonomía por lo que

$$Cne(9h)(Wh) = \frac{Cne(Wh) * 9}{24}$$

Formula. 8. Cálculo potencia batería 9 hora

$$Cne(5h) (Wh) = 101.25 Wh$$

Una vez obtenido la potencia, teniendo en cuenta la tabla de tensión nominal se calcula el amperaje de la batería.

$$Cne(Ah) = \frac{Cne(Wh)}{12V}$$

Formula. 9. Cálculo amperaje batería 9 hora

$$Cne(Ah) = 8.44 A$$

### 3.5.2 CÁLCULO DEL REGULADOR

El cálculo del regulador se realiza teniendo en cuenta la Corriente de salida requerida por el mismo, por lo que se hace mediante la siguiente ecuación:

$$P_{ti} = 38.3W$$

$$I_{salida} = \frac{(1,25)(P_{ti})}{(12V)(0,95)}$$

Formula. 10. Calculo regulador de carga.

Siendo  $I_{salida} = 4.19 A$  por lo que cualquier regulador superior a 5 A funciona perfectamente.

### 3.5.3 CÁLCULO DEL INVERSOR

El cálculo del inversor se realiza teniendo en cuenta las potencias instantáneas mediante la siguiente ecuación.

$$P_{inv} = 1,10 * PAC$$

Formula. 11. Cálculo de potencia inversor

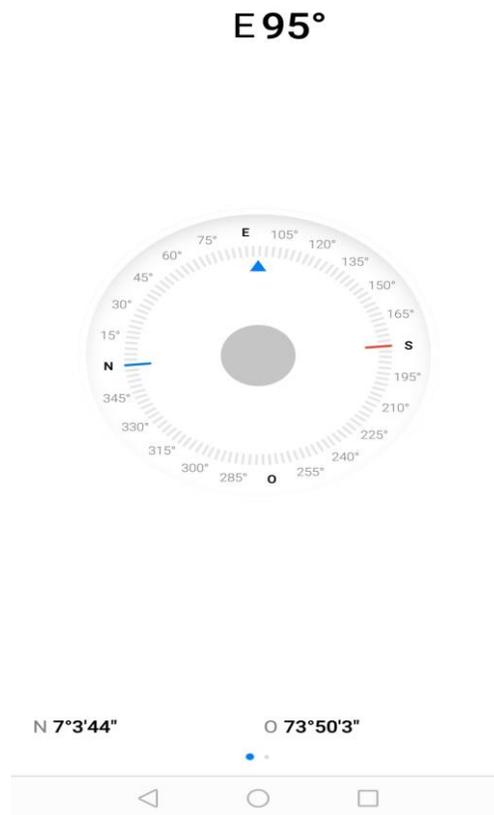
Siendo  $P_{inv} = 42.13W$  por lo que podemos usar cualquier inversor de capacidad superior como el de 100W.

Obteniendo así todos los cálculos necesarios para dimensionar el sistema.

## ANALISIS DE RESULTADO

Para la ubicación del SFA se hace necesario el uso de una app de brújula, la cual nos permite tener un mejor posicionamiento del sistema dado que el mismo fue considerado a usarse solo para la zona ecuatorial y posee un grado de libertad de seguimiento solar, en la figura a continuación se muestra la ubicación obtenida para la calibración del SFA apuntando a 5° SE la cual es la mejor ubicación seleccionada, según datos meteorológicos obtenidos de POWER DATA ACCESS de la NASA

*Fig. 46 Pantalla GPS*

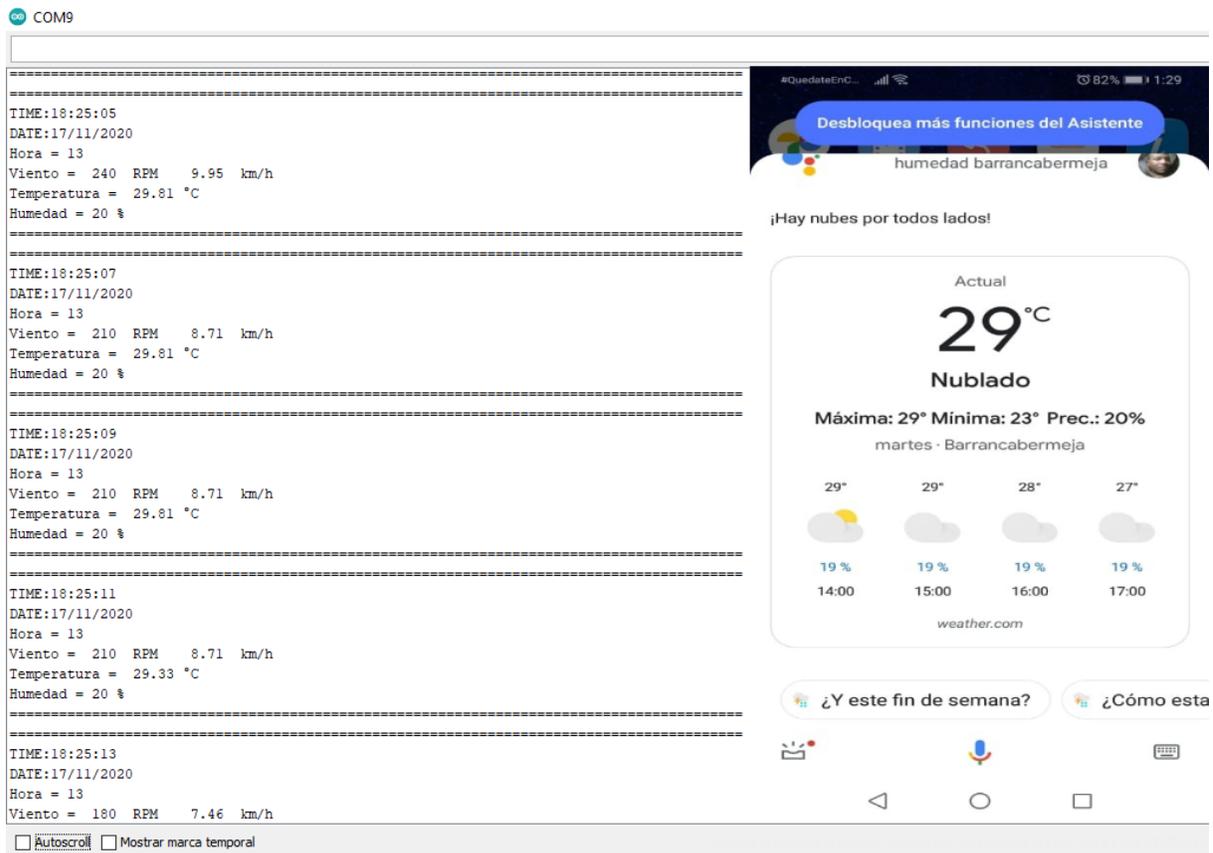


*Fuente: Propia*

Una vez ubicado el SFA lo activamos para su uso, el sistema comienza a realizar las mediciones de temperatura, humedad y velocidad del viento, además de darnos la hora y fecha, en que se genera el reporte, estos datos pueden visualizarse

por medio del monitor serial del Arduino, para analizar la veracidad de los mismos los comparamos con los datos obtenidos del navegador de google obteniendo que el margen de error está en un grado aceptable como se ve a continuación

Fig. 47 Comparación Datos obtenidos con datos climáticos



Fuente: Propia

Al comparar los datos obtenidos entre temperatura y humedad nos da lo siguiente:

Tabla 14 Porcentaje error temperatura

TEMP LM35 (°C)	TEMP SATELITAL (°C)	PORCENTAJE DE ERROR %
29.33	29	1,14
29.33	29	1,14
29.81	30	0.63
29.83	30	0.56

Fuente: Propia

Hallando el % de error mediante la ecuación

$$\%ERROR = \frac{|SENSOR SELECCIONADO - MEDIDA SATELITAL|}{MEDIDA SATELITAL} \times 100$$

Dándome un %Error inferior al 2% para los datos de prueba

En el caso de la humedad

Tabla 15 Porcentaje error humedad

DHT11 (%)	HUMEDAD SATELITAL (%)	PORCENTAJE DE ERROR %
92	93	1,075
92	93	1,075
93	93	0
93	94	1.064

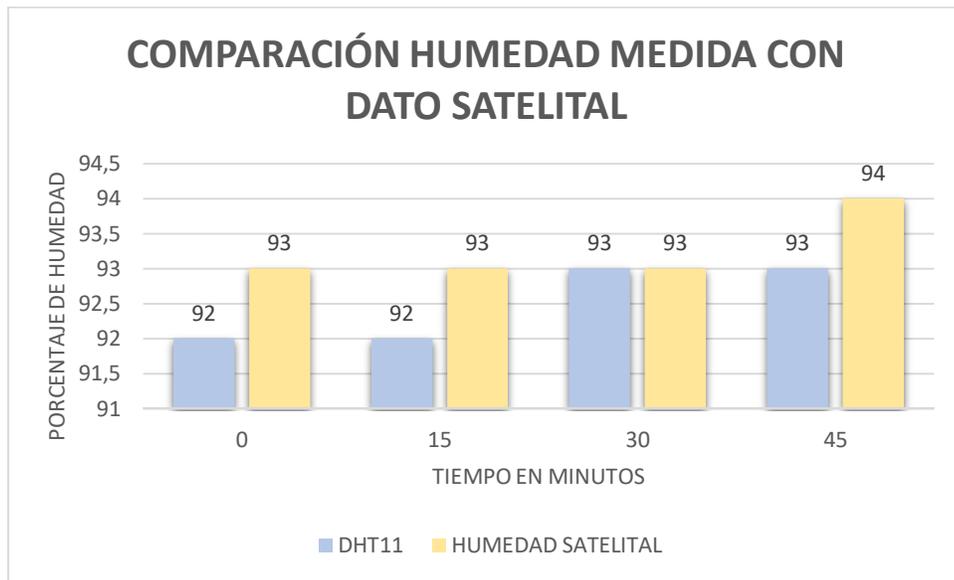
Fuente: Propia

Hallando el % de error mediante la misma ecuación del caso anterior solo cambiando el LM35 por el DHT11 y la TEMPERATURA SATELITAL por la HUMEDAD SATELITAL

Dándome un %Error inferior al 2% para los datos de prueba

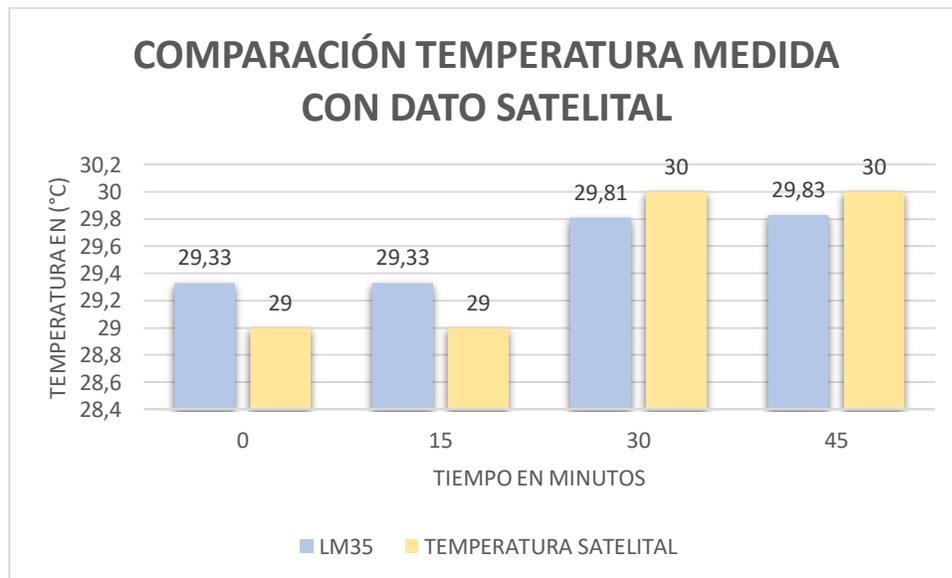
Los datos de temperatura y humedad anteriormente enmarcado son tomados por consideración propia de forma aleatoria cada 15 minutos durante una hora que al graficarse se obtiene el siguiente análisis de temperatura y humedad.

Fig. 48 Comparación Humedad medida Vs Satelital



Fuente: Propia

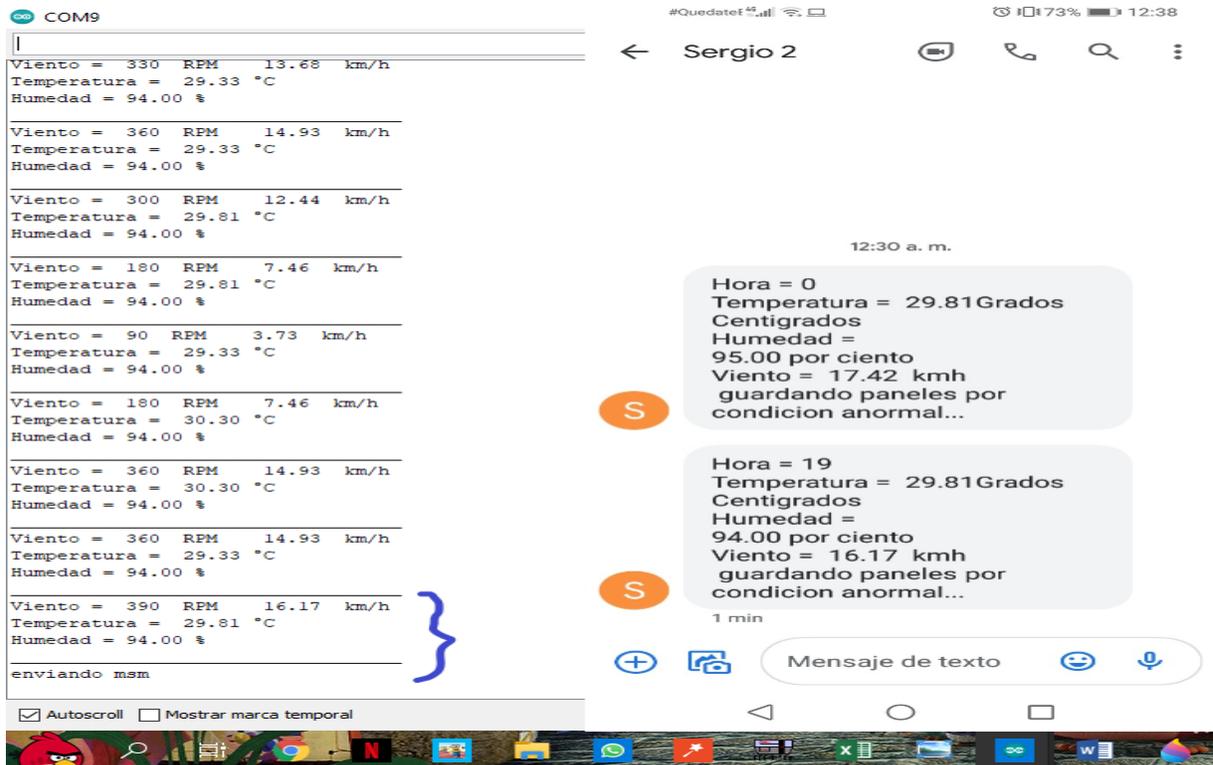
Fig. 49 Comparación de temperatura medida Vs satelital



Fuente: Propia

La comunicación por vía mensaje de texto se hace en caso de presentarse condiciones anormales para poder ponerla a prueba se emplearon elementos externos que permitan simular dichas alteraciones climáticas obteniendo como resultados los siguientes datos en el monitor serial del Arduino y verificando la información de esta con la recibida por vía telefónica en dicho mensaje.

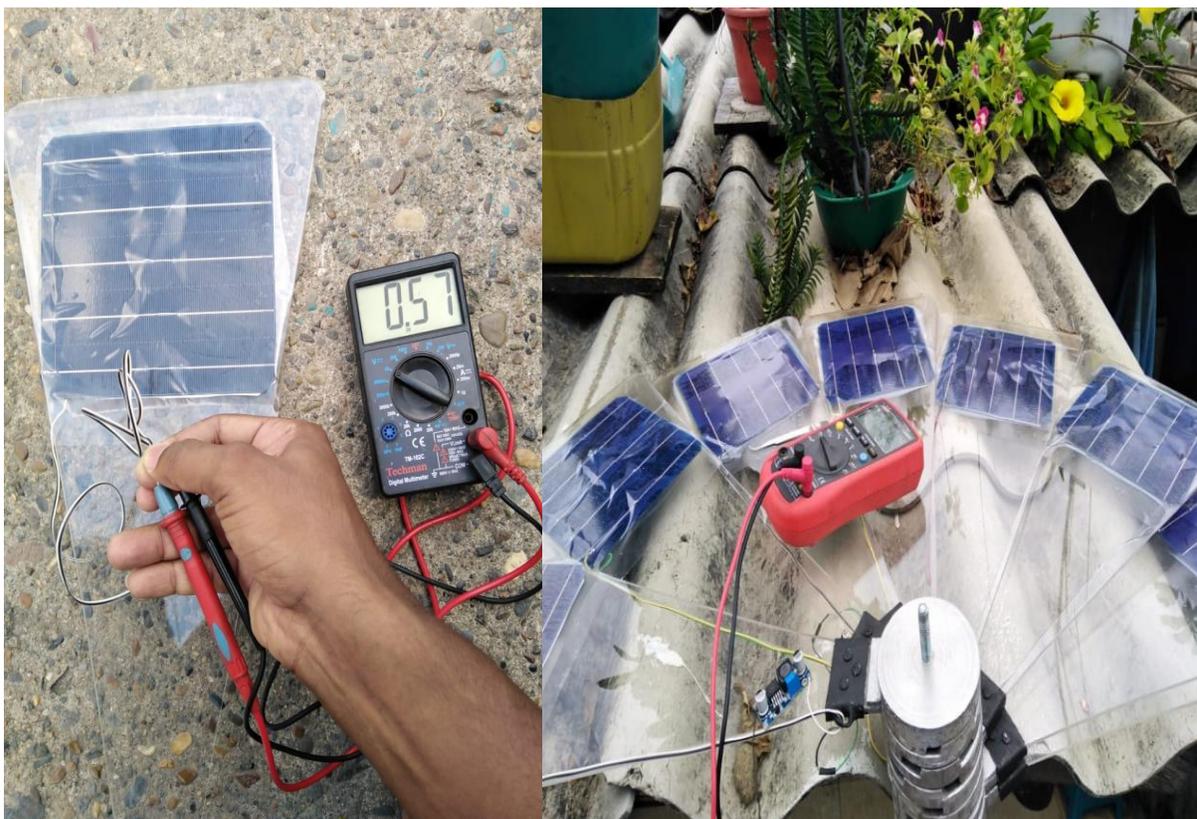
Fig. 50 Respuesta a comunicación



Fuente: Propia

Los paneles al ser expuestos al sol deben generar una carga individual de 0,5v cada uno, carga que queda comprobada mediante medición en campo, comprobando que no hubo error en la instalación de los mismo.

Fig. 51 Medición voltaje salida aspa solar



Fuente: Propia

Al medir el voltaje en circuito abierto y la corriente de corto circuito de las celdas solares obtenemos los siguientes valores que al compararlos con la eficiencia teórica nos da lo siguiente:

Tabla 16 TABLA COMPARATIVA

MEDIDA	VALOR REAL	VALOR TEÓRICO	DIFERENCIA
VOLTAJE (V)	0,57	0,5	+0,07
CORRIENTE (A)	9,3	10	-0,7
POTENCIA(W)	5,3	5	+0,3
EFICIENCIA (%)	18.51	17,46	+1,05

Fuente: Propia

Siendo los resultados obtenidos mediante la medición satisfactorios a favor del prototipo diseñado.

El suministro de energía a la batería se mantiene de forma estable siendo visible en la siguiente imagen donde se observa la relación entre el voltaje que entra en la batería medida por medio de un multímetro y la salida de voltaje que se provee desde el regulador de carga.

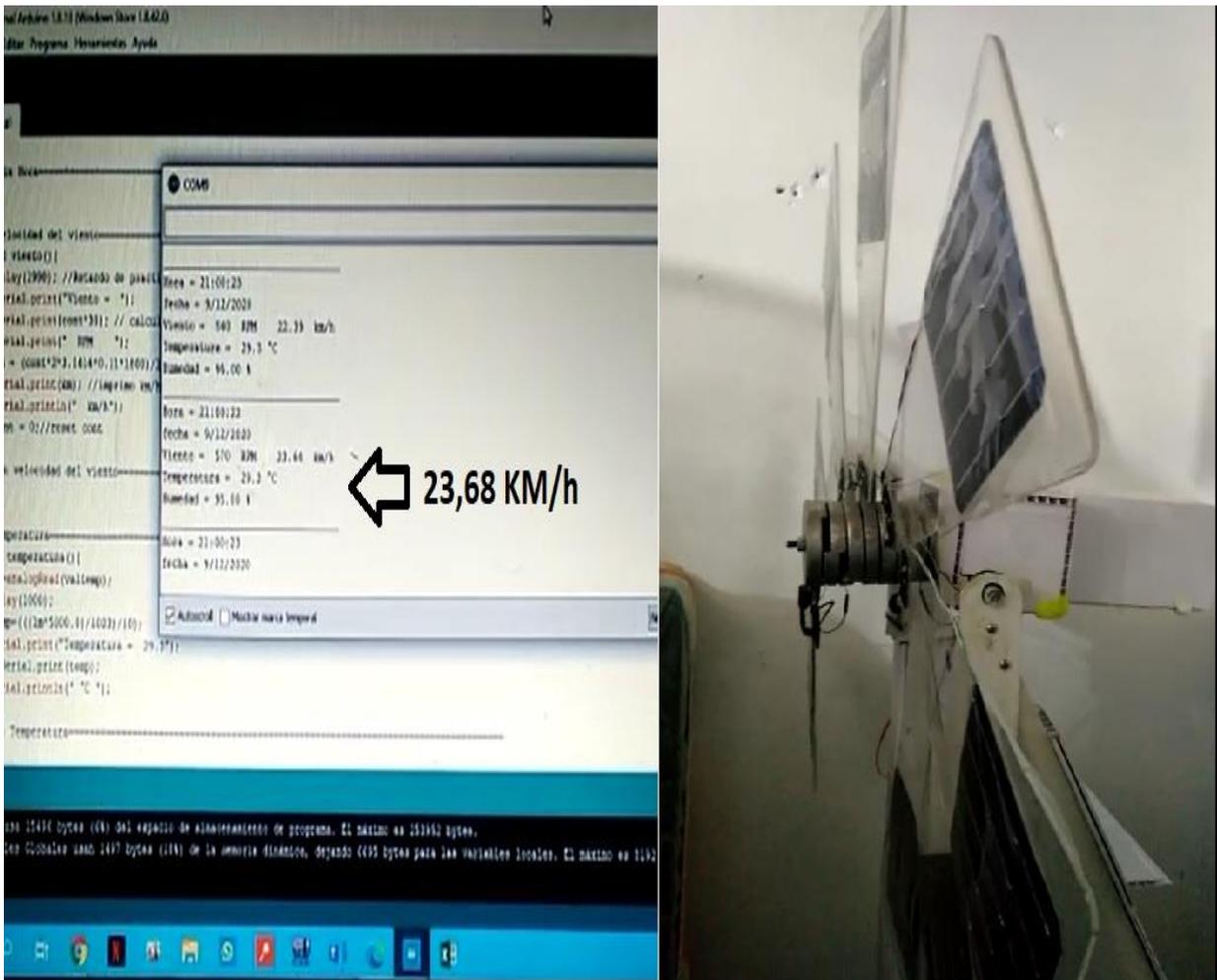
*Fig. 52 Carga solar de la batería*



*Fuente: Propia*

*Para validar que los valores de velocidad de viento sean tolerables por las aspas se experimenta con la misma hasta enfrentarlas a velocidades de aproximadamente 25 KM/h demostrando que para estas no se presentan deformación ni afectación aceptable que se pueda considerar un daño estructural demostrando así la robustez del prototipo de SFA a condiciones ambiente normales.*

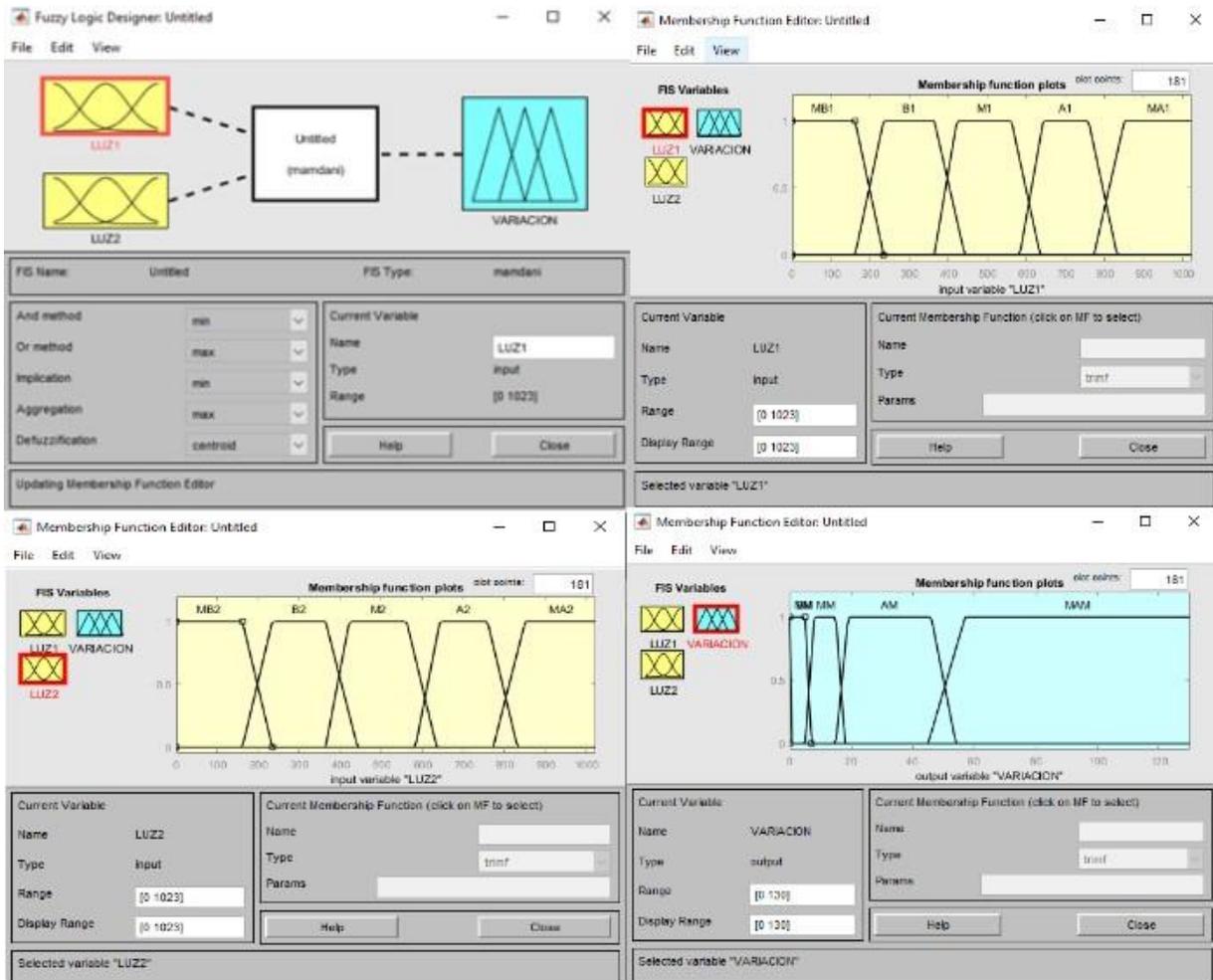
Fig. 53 Prueba de esfuerzo



Fuente: Propia

Para el sistema difuso se realiza validación mediante software especializado de forma que se pueda evaluar su comportamiento obteniendo lo siguiente:

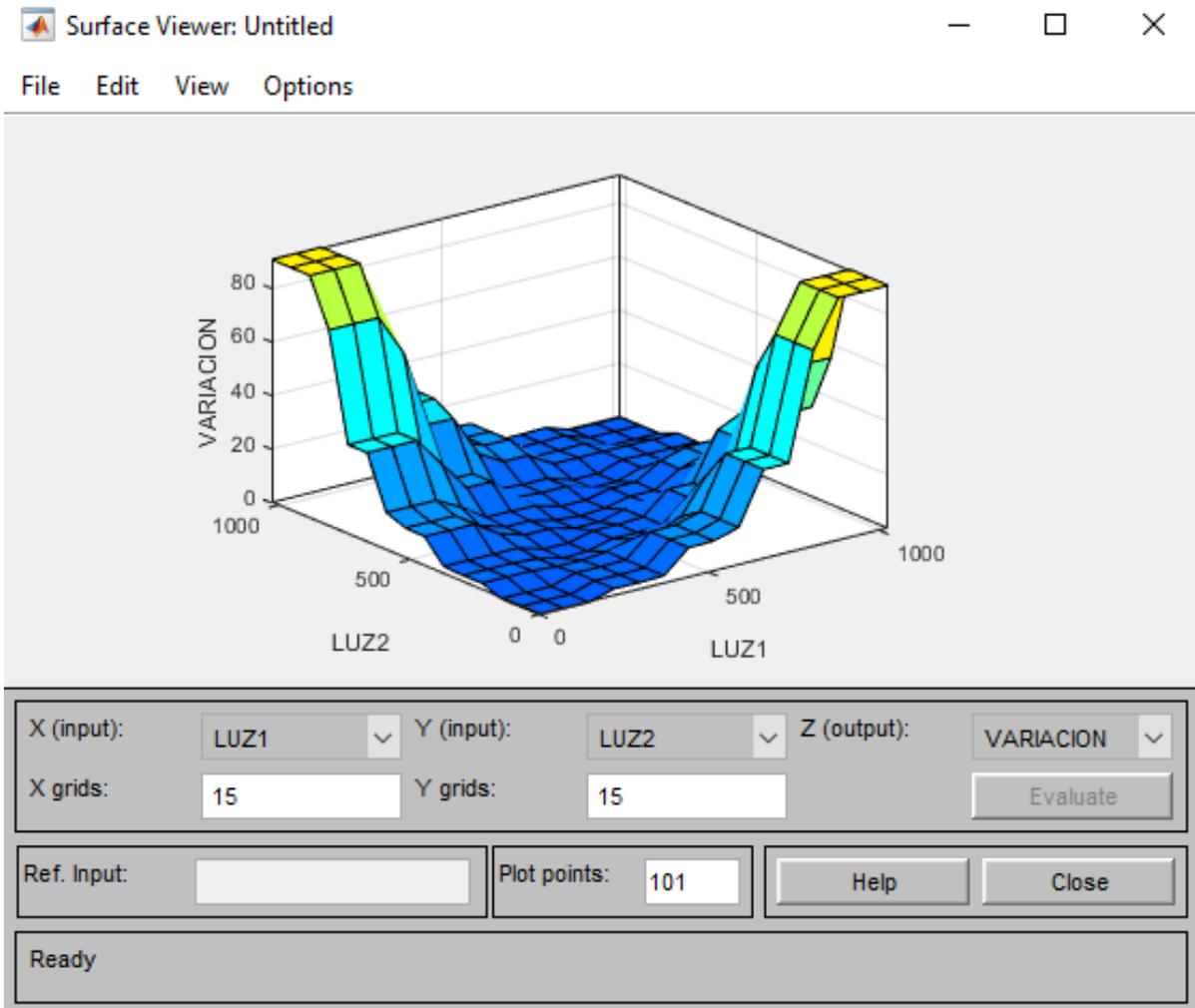
Fig. 54 Lógica difusa en Matlab



Fuente: Propia

Una vez simulado nos genera una tabla de resultados que nos muestra la variación del motor dependiendo de la base de reglas, siendo mínimas las variaciones en los lugares donde la diferencia entre ambas fotorresistencias disminuya y mayor en caso de que la diferencia entre ambas sea grande, como se muestra en la figura a continuación.

Fig. 55 Grafica salida sistema difuso



*Fuente: Propia*

Por último, se observa que el seguimiento solar es continuo, obteniendo buenos resultados en la funcionalidad de la programación y dando parte de tranquilidad en la selección de los actuadores como puede verse en la siguiente ilustración en la que se expone el circuito de control al campo y se evalúa su funcionamiento mostrándose así un efectivo seguimiento solar.

*Fig. 56 SFA SMART FLOWER*



*Fuente: Propia*

## COSTOS DEL PROYECTO

Por ultimo realizamos un análisis de costo teniendo en cuenta todo aquello que forma parte del proyecto:

*Tabla 17. Costos de Construcción*

RELACION COSTOS			
CANTIDA			
D	ARTICULO	COMPRA	VENTA
8	CÉLULAS SOLARES 5W	\$ 80000	
1	INVERSOR DE 300W	\$ 83000	
1	REGULADOR 12V – 30A	\$ 47000	
1	BATERIA 12V – 9A	\$ 68000	
1	CONVERSOR DC/DC ELEVADOR	\$ 7000	
1	CABLES	\$ 23000	
1	ARDUINO MEGA	\$ 67000	
1	MODULO SIM900	\$ 94000	
1	MODULO GPS 6M	\$ 38000	
1	MOTOR SHIELD L293D	\$ 11000	
1	SENSOR DE HUMEDAD DHT11	\$ 10000	
1	SENSOR DE TEMPERATURA LM35	\$ 6000	
1	CNY70	\$ 5000	
1	ESTRUCTURA ANEMÓMETRO	\$ 15000	
1	ESTRUCTURA METALICA BASE	\$ 120000	
2	AGARRES	\$ 15000	
1	EJE DE ROTACIÓN	\$ 20000	
9	BALINERAS PEQUEÑAS	\$ 36000	
2	BALINERAS GRANDES	\$ 9000	
1	TORNILLO SIN FIN	\$ 4500	
8	PIÑONES	\$ 450000	

2	LAMINAS PVC	\$ 26000
7	TORNILLOS Y TUERCAS	\$ 2000
	LAMINAS DE ACRILICO 70 X 60	
2	TRANSPARENTE	\$ 90000
2	FOTORESISTENCIAS	\$ 400
1	POTENCIOMETRO	\$ 300
1	PORCELANICRON	\$ 3000
24	REMACHES	\$ 7200
2	SERVOMOTORES	\$ 400000
	CABLE DE ALIMENTACION	
1	ARDUINO 9V	\$ 15000
	CABLE DE ALIMENTACIÓN MOTOR	
1	SHIELD 5V	\$ 12000
1	OTROS	\$ 40000
TOTAL		\$ 1801400
TOTAL A PAGAR POR VENTA E INSTALACIÓN =		\$ 3000000

*Fuente: Propia*

El precio de un sistema SMARTFLOWER comercial que produce 4KW cuesta en promedio 12.000 Euros, lo que supondría al cambio \$ 49'748.376 Pesos colombianos sin incluir el precio de importación lo que lo elevaría aún más. Cabe resaltar que el diseño trata de un prototipo de bajo suministro y que la producción en masa tiende a reducir costos y aumentar la utilidad por lo cual se hace imposible llegar a un punto de comparación.

## CONCLUSIONES

- Para el diseño estructural la implementación de un contrapeso disminuyó enormemente la carga que generaban en el motor el peso de los piñones y las aspas, además de proporcionar estabilidad en el tiempo de subida como de bajada, aparte de eso, para reducir aún más la fricción y dar mayor libertad de movimiento se implementó el uso de balineras, al punto donde el esfuerzo del motor es mínimo debido a la distribución de peso y los soportes complementarios.

- Al considerar una estructura SMART FLOWER es necesario evaluar tanto la estética como la funcionalidad por lo que una estructura con caja en la parte inferior para almacenamiento y elevación para el acople con las aspas solares fue una apuesta acertada puesto que, además de poseer un diseño atractivo prioriza en un espacio necesario para el almacenamiento separado del sistema eléctrico del electrónico.

- Al querer realizar las aspas con células solares se debe tener mucho cuidado debido a la fragilidad de las mismas, tanto en su manipulación como en el debido cableado, el uso del cautín debe ser muy minucioso la soldar se debe acomodar el estaño sobre la celda y posar de forma delicada el cautín hasta derretir el estaño tratando de mantener el menor contacto posible con la celda solar.

- Existen diferentes estrategias de control para diferentes aplicaciones siendo unas más precisas que otras, para un sistema como el desarrollado en este proyecto, el cual admite un margen de error, el uso de lógica difusa se presenta como una opción admisible y práctica para la solución del problema haciendo más amigable el desarrollo del sistema.

- El GPS y el servomotor generan dificultad de operación en paralelo al implementarse en Arduino siendo que tanto la librería del servo y software serial comparten el uso del TIMER 1 en Arduino y ambos se ubican en 9600 baudios, lo que ocasiona interferencia en el servo haciendo que en este se genere un ruido que ocasiona que el mismo pierda estabilidad, para solucionar este inconveniente se hace necesario no usar puerto serial por software para el GPS si no puerto serial por

hardware dejando así su manejo a otro TIMER, esto es posible dependiendo debido al número de puertos seriales que maneja el Arduino mega.

- La estrategia de control por nivelación lumínica exige para su buen funcionamiento conocer los ciclos solares y las horas de luz en la zona de ubicación si se desea que el sistema no sea afectado por la luz eléctrica en horas de la noche y haga seguimiento de la misma.

- El dimensionamiento es ajustable según las necesidades del usuario final, teniendo en cuenta la capacidad instalada y las horas de autonomía concisas al sistema, valores fijos e inertes en el mismo, recordando que se trata de un prototipo de baja potencia.

- Al posicionar el sistema solar fotovoltaico autónomo se hace necesario el uso de una brújula que nos permita un mejor ángulo de acogida solar, además de fijar el mismo al terreno dándole mayor estabilidad al sistema

- Un sellado hermético de la caja de contención impide el ingreso de líquidos que puedan afectar los circuitos electrónicos como también, el sistema eléctrico causando daños irreparables en el sistema.

## RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta que el sistema fotovoltaico autónomo presentado en este proyecto es un prototipo de baja generación por lo cual no posee la capacidad para alimentar elementos de alto consumo, en escala real el sistema fotovoltaico autónomo supone una eficiencia suficiente para la generación de energía para el micro consumo domiciliario del hogar completo y mayor autonomía.
- Para un mejor aprovechamiento de las aspas lo mejor es conseguir células solares más pequeñas de forma tal que las mismas se puedan distribuir a lo largo y ancho de estas obteniendo una mayor salida de potencia que la presentada por este prototipo.
- En el diseño de los piñones se recomienda que la sección de acople con el aspa sea más larga, de forma tal que se tenga una mayor área de agarre lo cual da mayor estabilidad permitiéndole soportar condiciones de trabajo un poco más adversas.
- Para un mejor aprovechamiento de los sensores y la comunicación se recomienda la implementación de un sistema de recopilación de información teniendo a la mano datos que solo se puede adquirir por medio de una estación meteorológica o a través de satélite, además de también aprovechar el GPS para en caso de extravío del SFA se pueda obtener la localización del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] E. Alcor, <<INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS>> 2da ed. PROGENSA.

[2] Ministerio de minas y energía [unidad de planeación minero energética (UPME), instituto de hidrología, meteorología y estudio ambientales (IDEAM)], Atlas de radiación solar de Colombia [En línea]. [Citado el 07 de marzo de 2018], Disponible en el sitio Web: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar%20Colombia.pdf>

[3] Escuela de Ingeniería de Antioquia, Centrales Hidroeléctricas de Colombia, [En línea]. [Citado el 07 de marzo de 2018], Disponible en el sitio Web: [http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/centraleshidroelectricasdecol/centrales\\_hidroelectricas\\_de\\_col.html](http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/centraleshidroelectricasdecol/centrales_hidroelectricas_de_col.html)

[4] Ministerio de minas y energías, Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 del congreso de la república de Colombia, [En línea]. [Citado el 07 de marzo de 2018], Disponible en el sitio Web: [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)

[5] Nota periodística, Diario EL PAIS 08 de febrero de 2017, [En línea]. [Citado el 07 de marzo de 2018], Disponible en el sitio Web: <http://www.elpais.com.co/economia/con-un-megaproyecto-en-yumbo-el-valle-quiere-ser-lider-en-energia-solar-1.html>

[6] BERNAL ESPAÑA MARCOS, (2016) DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES. [Citado el 11 de noviembre de 2020], Disponible en el sitio web: [http://oa.upm.es/43463/1/TFG\\_MARCOS\\_BERNAL\\_ESPANA\\_a.pdf](http://oa.upm.es/43463/1/TFG_MARCOS_BERNAL_ESPANA_a.pdf)

[7] WILLIAM ANDRES BARRERA SALAZAR, FABIAN ALEXANDER CASTILLA GARZÓN, (2018) PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CONSUMO ELÉCTRICO EN EL MUNICIPIO DE QUEBRADANEGRA,

CUNDINAMARCA. [citado el 11 de noviembre de 2020], Disponible en el sitio web: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/15472>

[8] Jiménez Aljure, Javier Alfonso, (2016) Diseño de un seguidor solar automático para un arreglo básico de paneles fotovoltaicos. [citado el 11 de noviembre de 2020], disponible en el sitio web: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/549>

[9] DE LA GALA CONTRERAS, ALESSANDRO, (2018) IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA COMPARATIVA DE PANELES FOTOVOLTAICOS. [citado el 11 de noviembre de 2020], disponible en el sitio web: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3255>

[10] MANCCO LEANDRO, PAULO CÉSAR, (2015) SEGUIDOR SOLAR DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL AISLADA CON AVISO PREVENTIVO DE MANTENIMIENTO. [citado el 11 de noviembre de 2020], disponible en el sitio web: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6190>

[11] J. Jantzen, H. Verbruggen, J.-J. Ostergaard. “Fuzzy control in the process industry: common practice and challenging perspectives”.

[12] Hao Ying. “Fuzzy Control and modeling: Analytical foundations and applications”. IEEE Press Series on Biological Engineering. 2000.

[13] Hao Ying. “The simplest fuzzy controllers using different inference methods are different nonlinear proportional-integral controllers with variable gains”. Automática, vol 29 N° 6, pp. 1579-1589. 1993.

[14] Ambalal V. Patel, “Transformation Functions for Trapezoidal Membership Functions”, International Journal of Computational Cognition <http://www.YangSky.com/yangijcc.htm> Volume 2, Number 3, Pages 115–135, September 2004.

## LITOGRAFÍA

[15] Alldatasheet.com. (s.f). Electronic Components Datasheet Search. Obtenido de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/517588/T11/LM35.html>

[16] BERNAL ESPAÑA, M. (Julio de 2016). <http://oa.upm.es/>. (Universidad Politécnica de Madrid) Recuperado el 11 de noviembre de 2020, de [http://oa.upm.es/43463/1/TFG\\_MARCOS\\_BERNAL\\_ESPANA\\_a.pdf](http://oa.upm.es/43463/1/TFG_MARCOS_BERNAL_ESPANA_a.pdf)

[17] Celsia. (s.f). Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia. Obtenido de Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia: <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>

[18] clipset.com. (2015). Smartflower POP, el sistema fotovoltaico todo en uno con forma de flor. Obtenido de <https://clipset.com/smartflower-pop-el-sistema-fotovoltaico-todo-en-uno-con-forma-de-flor/>

[19] El pais. (7 de septiembre de 2017). El científico creó un área de conocimiento que ha originado más de 50.000 patentes. Obtenido de [https://elpais.com/elpais/2017/09/07/ciencia/1504819660\\_585104.html](https://elpais.com/elpais/2017/09/07/ciencia/1504819660_585104.html)

[20] La Republica. (19 de febrero de 2019). Efecto Hidroituango. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/el-consumo-per-capita-de-energia-fue-de-1159-kwh-durante-el-ano-pasado-2829778>

[21] Quiminec. (16 de noviembre de 2011). ¿Qué es un sistema fotovoltaico? Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-sistema-fotovoltaico-2638847.htm>

[22] Upme. (mayo de 2019). Día histórico para las energías renovables en Colombia. Obtenido de [https://www1.upme.gov.co/SalaPrensa/ComunicadosPrensa/Comunicado\\_05\\_2019.pdf](https://www1.upme.gov.co/SalaPrensa/ComunicadosPrensa/Comunicado_05_2019.pdf)

[23] El Tiempo (agosto de 2017) Conozca las ciudades con los vientos más fuertes en Colombia. Obtenido <https://www.eltiempo.com/colombia/otras->

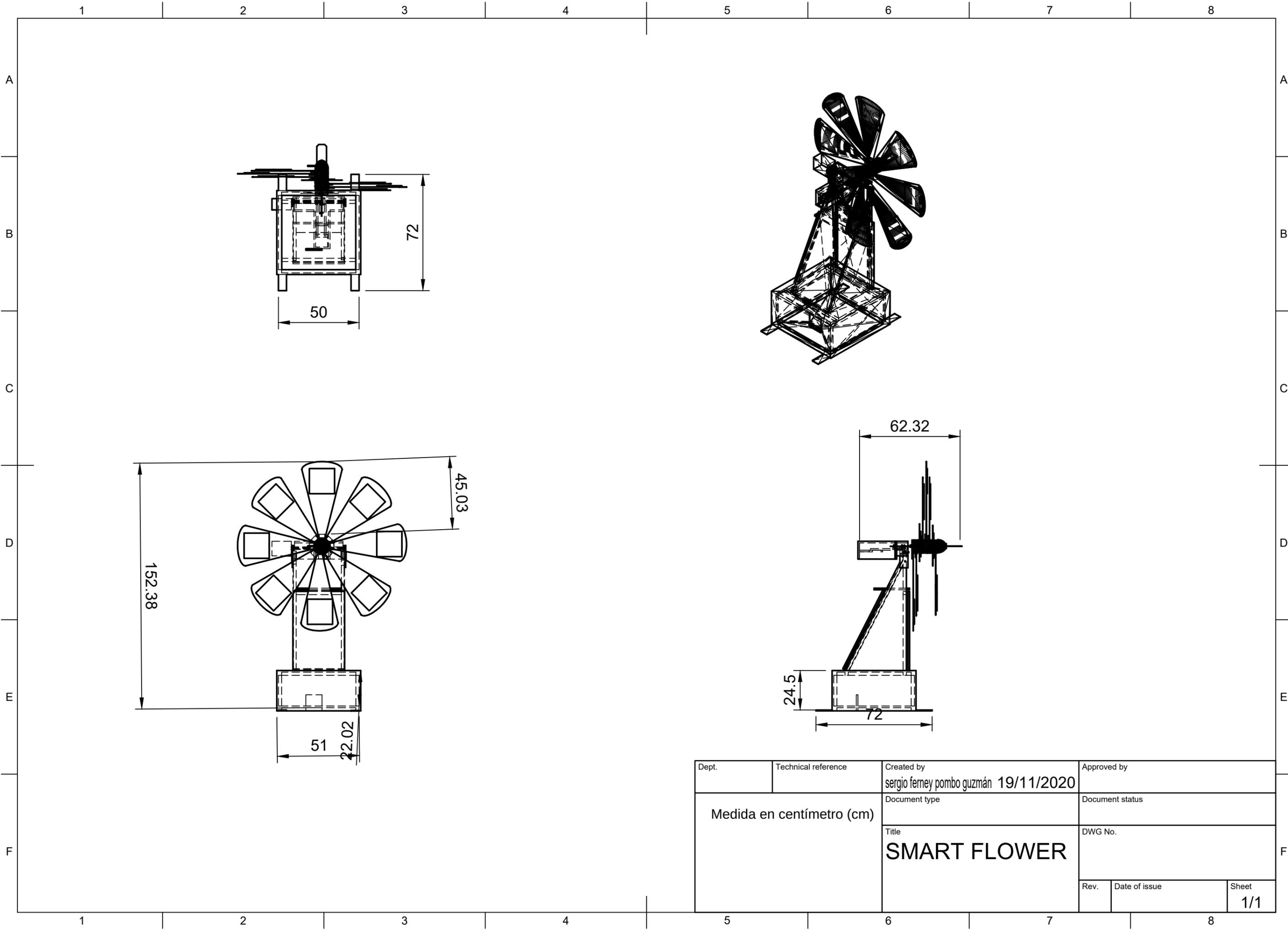


## ANEXO

### ANEXO 1. DISEÑO DEL PROTOTIPO 3D

*Fig. 57 Diseño del prototipo 3D*

*Fuente: Autor.*

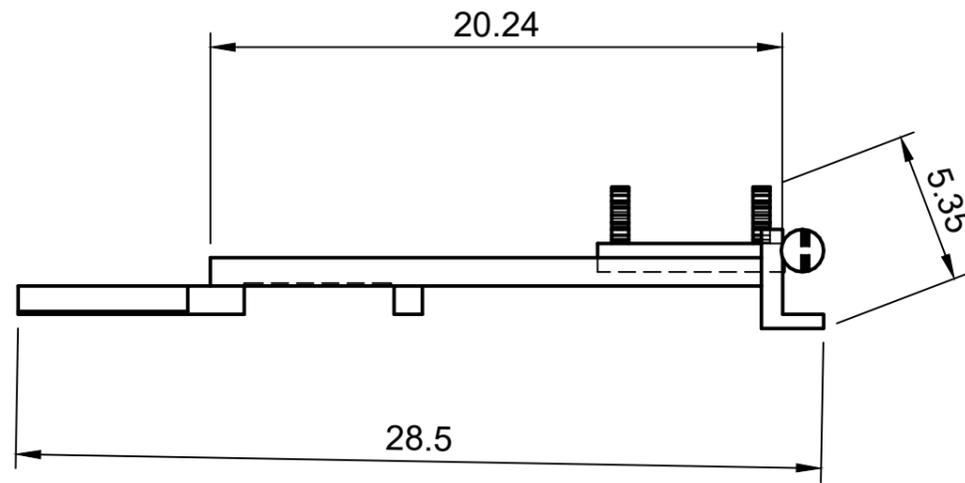
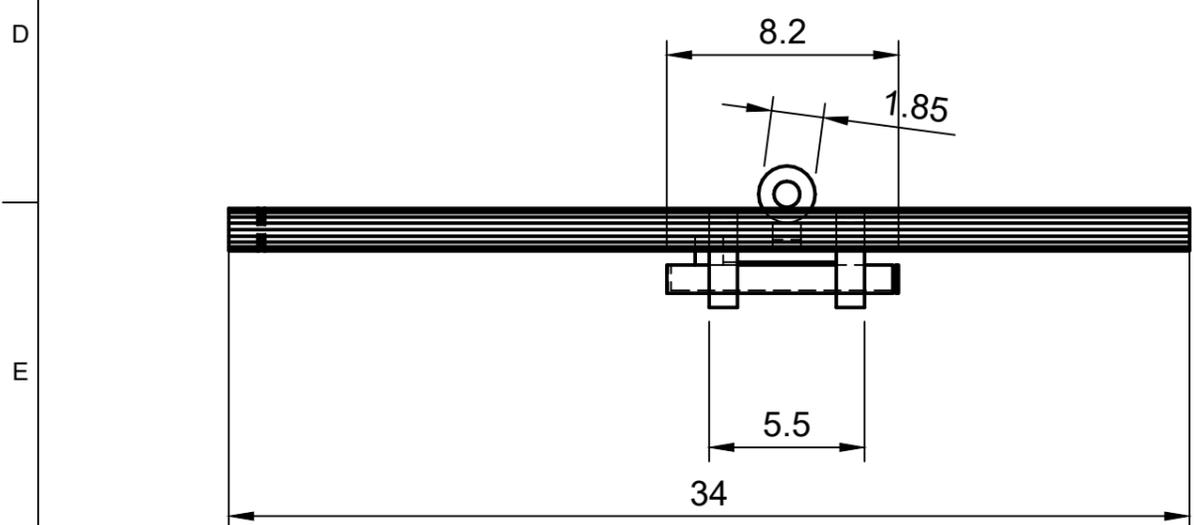
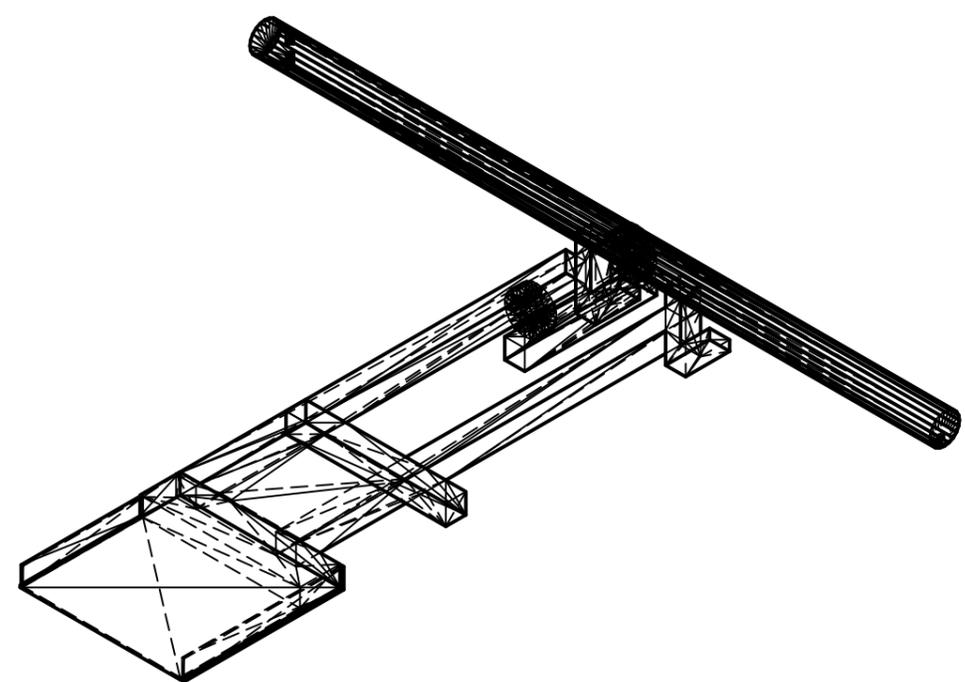
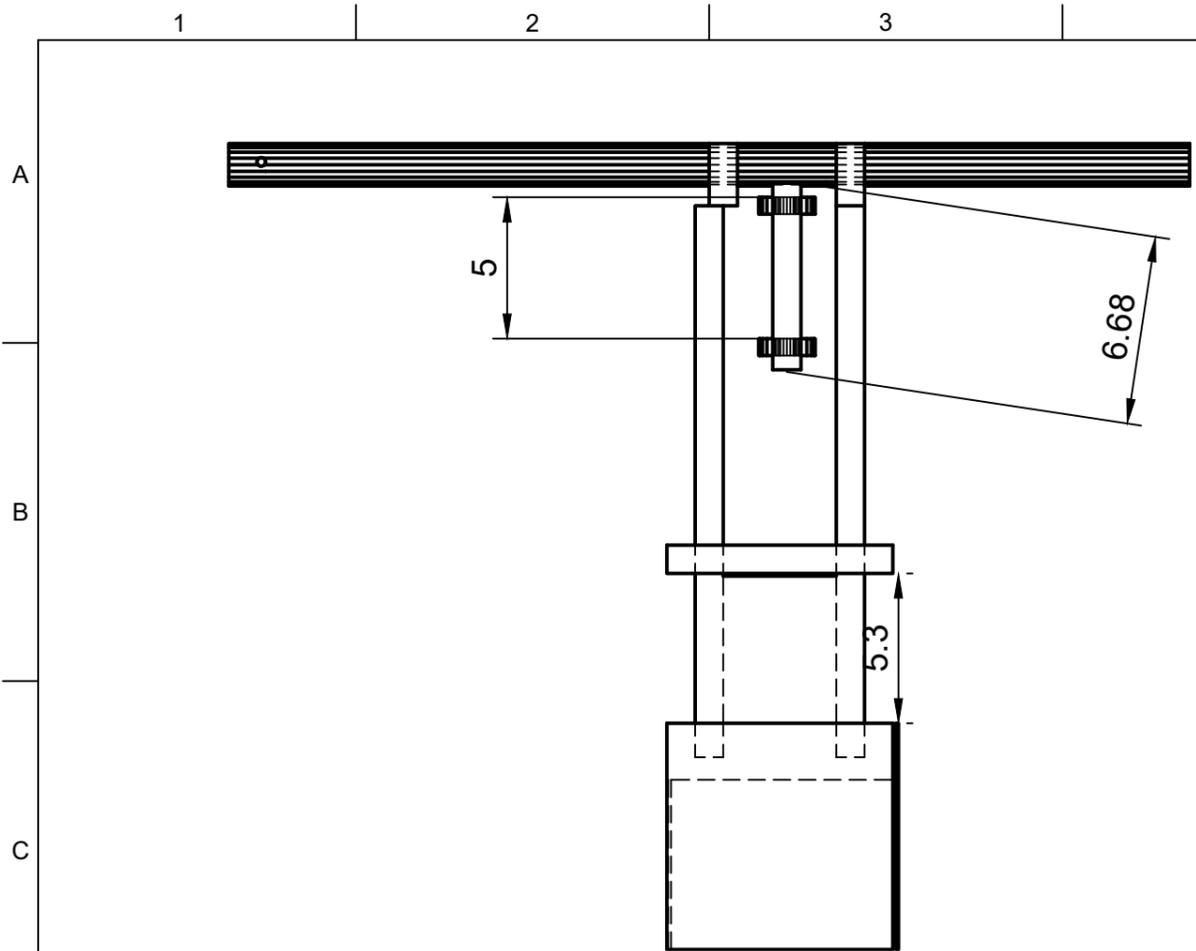


Dept.	Technical reference	Created by sergio ferney pombo guzmán 19/11/2020	Approved by
Medida en centímetro (cm)		Document type	Document status
		Title <b>SMART FLOWER</b>	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>	

## ANEXO 2. DISEÑO ROTOR

*Fig. 58 Diseño rotor 3D*

*Fuente: Autor.*

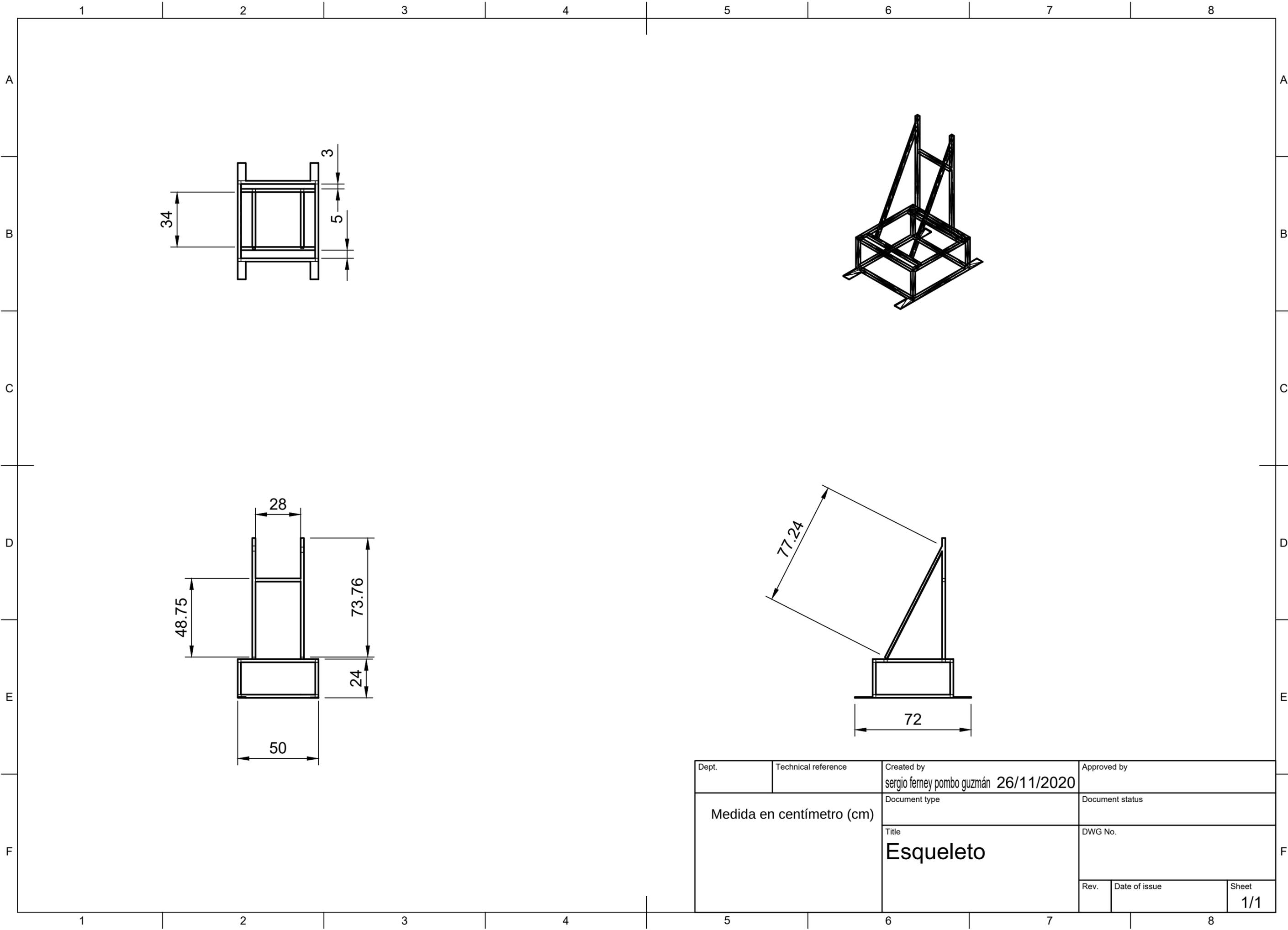


Dept.	Technical reference	Created by sergio ferney pombo guzmán 26/11/2020	Approved by
Medida en centímetro (cm)		Document type	Document status
		Title <b>rotor</b>	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>	

## ANEXO 3. DISEÑO ESQUELETO

*Fig. 59 Diseño esqueleto 3D*

*Fuente: Autor.*

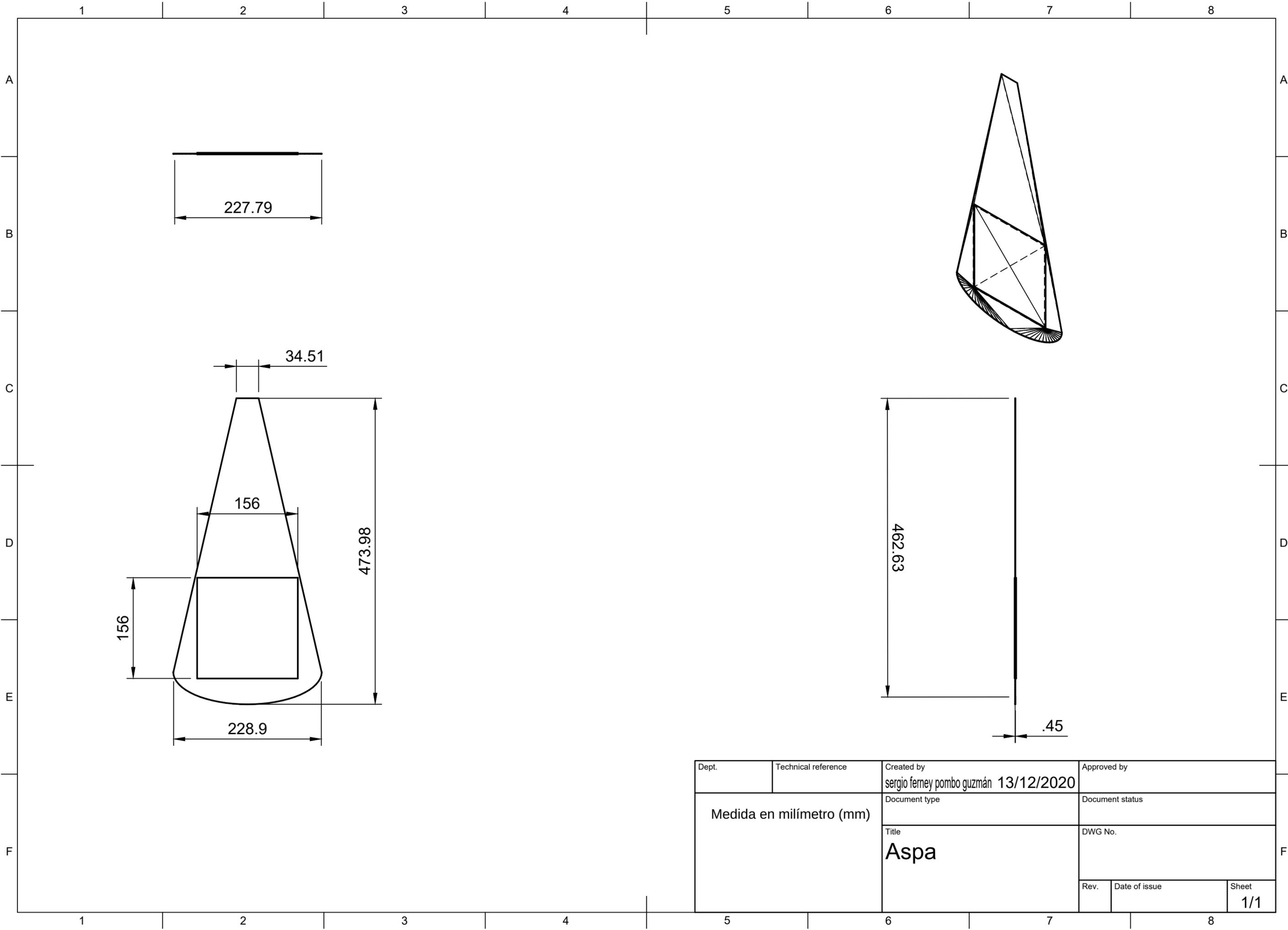


Dept.	Technical reference	Created by sergio ferney pombo guzmán 26/11/2020	Approved by
Medida en centímetro (cm)		Document type	Document status
		Title <b>Esqueleto</b>	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet 1/1	

## ANEXO 4. DISEÑO ASPAS

*Fig. 60 Diseño de aspas 3D*

*Fuente: Autor.*

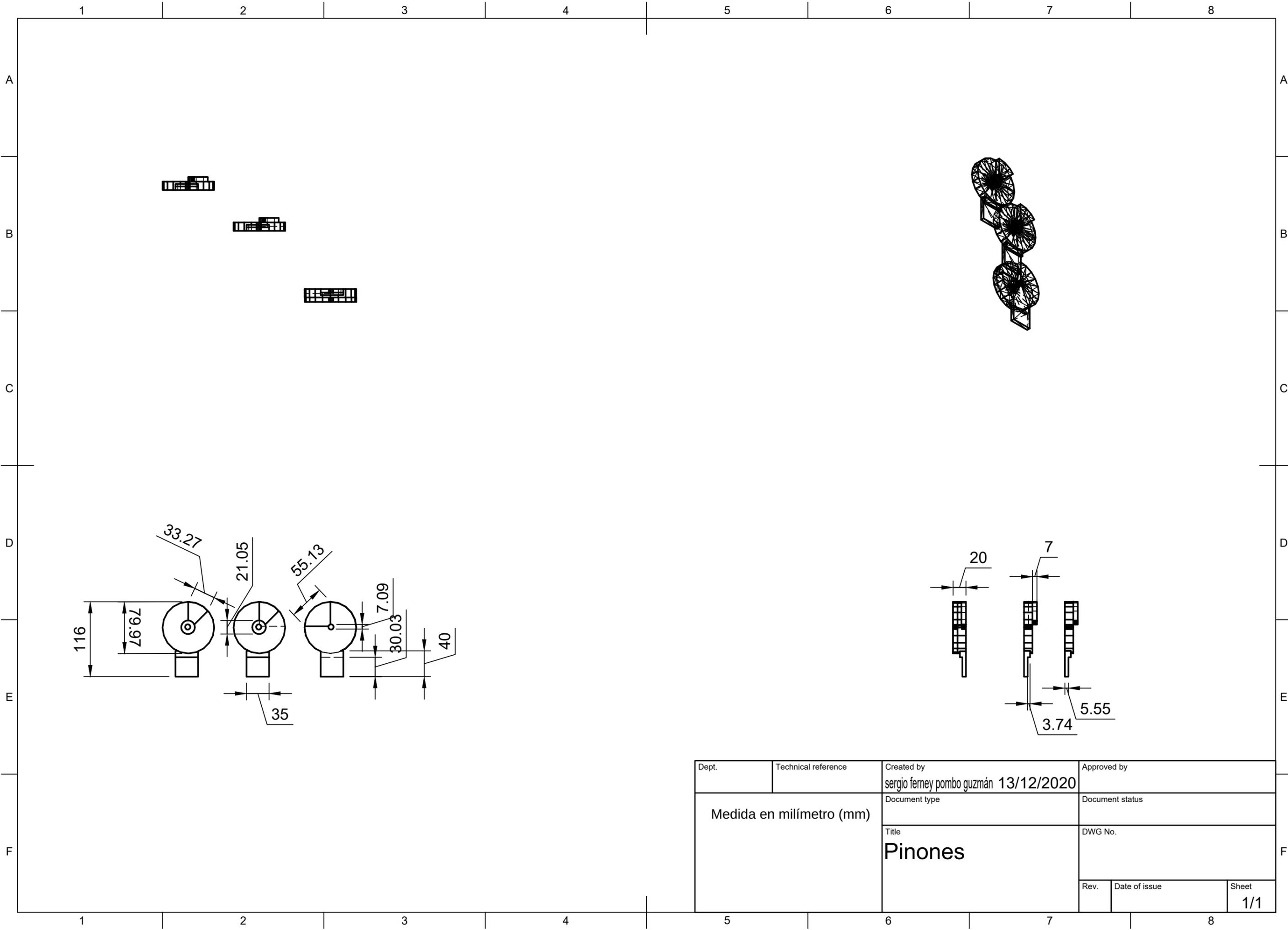


Dept.	Technical reference	Created by sergio ferney pombo guzmán 13/12/2020	Approved by
Medida en milímetro (mm)		Document type	Document status
		Title <b>Aspa</b>	DWG No.
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1

## ANEXO 5. DISEÑO DE PIÑONES

*Fig. 61 Diseño de piñones 3D*

*Fuente: Autor*

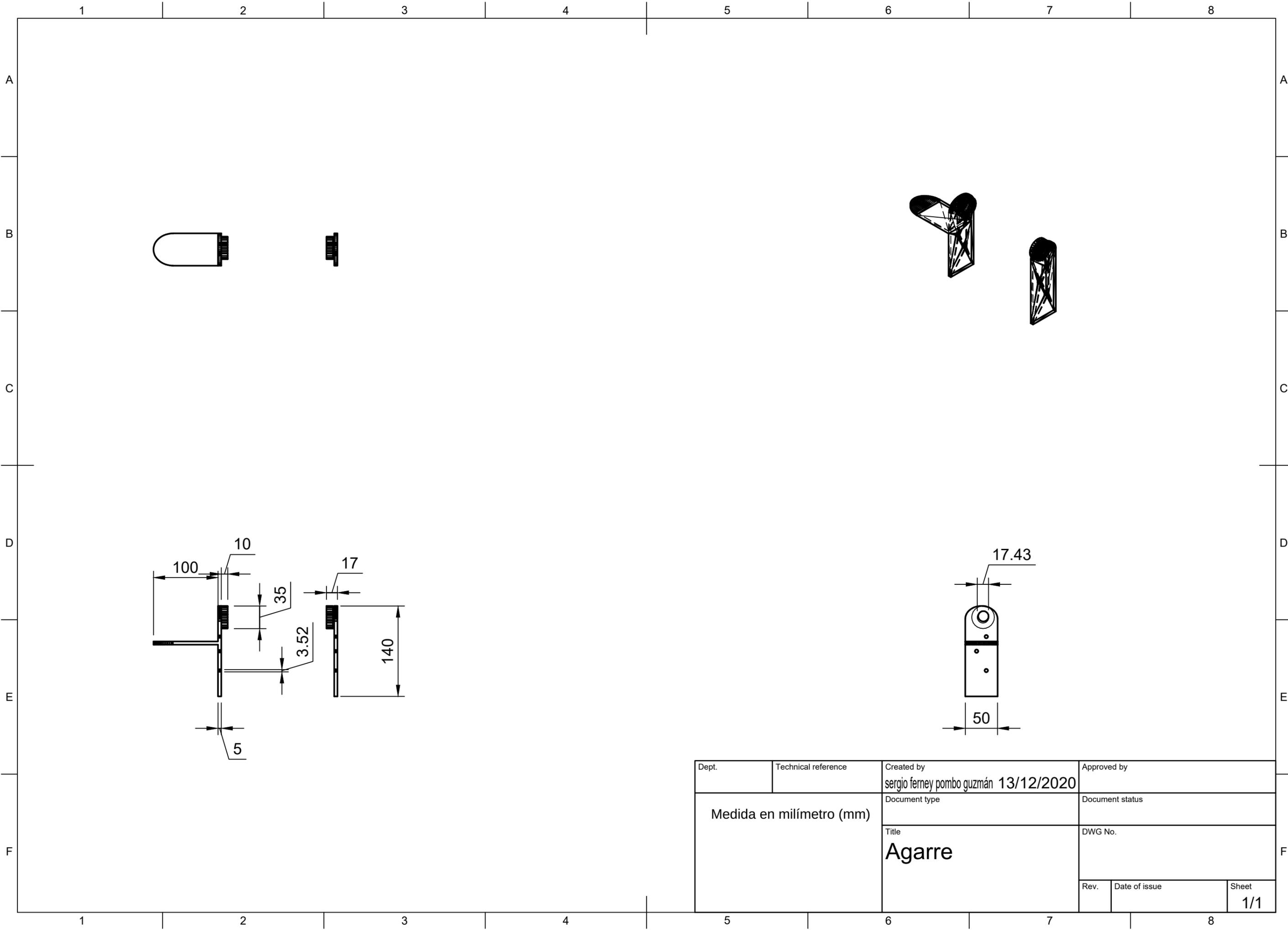


Dept.	Technical reference	Created by sergio ferney pombo guzmán 13/12/2020	Approved by
Medida en milímetro (mm)		Document type	Document status
		Title <b>Pinones</b>	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet 1/1	

## ANEXO 6. DISEÑO DE AGARRE

*Fig. 62 Diseño de agarre 3D*

*Fuente: Propia*



Dept.	Technical reference	Created by sergio ferney pombo guzmán 13/12/2020	Approved by
Medida en milímetro (mm)		Document type	Document status
		Title <b>Agarre</b>	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet 1/1	

## ANEXO 6. CODIGO ARDUINO

```
#include <AFMotor.h>           // Include libreria controlador
motores

#include <Servo.h>             // Include libreria servo

#include <TinyGPS++.h>        // Include libreria TinyGPS++

#include <SoftwareSerial.h>    // Include libreria software
serial

#include <dht.h>              // Include libreria dht11

AF_DCMotor m1(1);

TinyGPSPPlus gps;

//SoftwareSerial mySerial(22, 23); // Define software serial RX
pin 22 TX pin 23

Servo servom; // 0° = 750, 90° = 1500 180° = 2250

dht DHT;

#define DHT11_PIN 29

byte last_second;

char Time[] = "TIME:17:18:00";
char Date[] = "DATE:17/11/2020";

volatile int cont = 0; //Contador almacenado

int x=0,y=0, t=0, h=0, u=0,pulso = 0;

int valtemp = A9, x1 = A10,y1 = A11 ,sr=40;

int v1 = 0, v2 = 0;

float km = 0;

int lm, c1=0;

float temp=0;
```

```

void setup() {
  Serial1.begin(9600);
  Serial3.begin(19200);
  Serial.begin(57600);
  delay (1000);
  //Serial.print("Hora y fecha = ");
  //Serial.print(Time);
  Serial.println("SFA TIPO SMARTFLOWER ING. ELECTRONICO SERGIO
  FERNEY POMBO GUZMÁN..... ");
  //Serial.println(Date);
  attachInterrupt(2,interrupt2, RISING); //interrupt 2 (pin 21)
  m1.setSpeed(250);
  servom.attach(9);
  servom.write(sr);
  //Encendido del módulo SIM900 por software
  digitalWrite(46, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(46, LOW);
  Serial.println("Empezando.....");
  delay(5000);
  sr = servom.read();
}
void loop() {
  gpshora();
  hora();
}

```

```

    if (x>=6 && x<=18){
        //Motor
DC=====
=====

    if (c1==0){
        motora();
        c1=1;
        Serial.println("motor abriendo aspas");
    }

    //Fin                                     motor
DC=====
=====

    //control
fuzzy=====
=====

    v1 = analogRead(x1);
    v2 = analogRead(y1);
// Serial.print ("Fotorresistencia 1 =");
// Serial.println(v1);
// Serial.print ("Fotorresistencia 2 = ");
// Serial.println(v2);

    //contról        servo        por        nivelación        lumínica
=====

    if (v1-(v1*0.05)>v2 || v2-(v2*0.05)>v1){
        nivelacion();
    }

//Fin        contról        servo        por        nivelación        lumínica
=====

```

```

}else{
    //velocidad
viento===== del
=====

    viento();
    //fin
    velocidad
viento===== del
=====

//Temperatura=====
=====

    temperatura();
    //fin
Temperatura=====
=====

    //humedad
relativa=====
=====

    humedad();
    //fin
relativa===== Humedad
=====

//Comunicación=====
=====

    comunicacion();
    //fin
Comunicación=====
=====

}

```

```

//Modulo
GPS=====
=====

    gpshora();

//Fin                                     modulo
GPS=====
=====

    }else{
        cerrado();
    }
}

//Hora
GPS=====
=====

void gpshora(){
    while (Serial1.available() > 0) {
        if (gps.encode(Serial1.read())) {
            if (gps.time.isValid()) {
                Time[5] = gps.time.hour() / 10 + 48;
                Time[6] = gps.time.hour() % 10 + 48;
                Time[8] = gps.time.minute() / 10 + 48;
                Time[9] = gps.time.minute() % 10 + 48;
                Time[11] = gps.time.second() / 10 + 48;
                Time[12] = gps.time.second() % 10 + 48;
            }
            if (gps.date.isValid()) {
                Date[5] = gps.date.day() / 10 + 48;

```



```

//Fin Hora GPS=====
//contról      servo      por      nivelación      lumínica
=====

void nivelacion(){
  while (v1-(v1*0.05)>v2 || v2-(v2*0.05)>v1){
    Serial.print ("Fotorresistencia 1 =");
    Serial.println(v1);
    Serial.print ("Fotorresistencia 2 = ");
    Serial.println(v2);
    v1 = analogRead(x1);
    v2 = analogRead(y1);
    sr=servom.read();
    if(v2-(v2*0.05)>v1){
      sr=sr+1;
      servom.write(sr);
      if(v2-(v2*0.05)>v1 && v2-(v2*0.2)<=v1){
        delay(500);
      }else if(v2-(v2*0.2)>v1 && v2-(v2*0.4)<=v1){
        delay(200);
      }else if(v2-(v2*0.4)>v1 && v2-(v2*0.6)<=v1){
        delay(50);
      }else{
        delay(10);
      }
    }
    if(sr+1>130){

```

```

        sr=130;
        servom.write(sr);
        delay(10);
    }
}else{
    sr=servom.read();
    servom.write(sr);
    delay(10);
}
if(v1-(v1*0.05)>v2){
    sr=sr-1;
    servom.write(sr);
    if(v1-(v1*0.05)>v2 && v1-(v1*0.2)<=v2){
        delay(500);
    }else if(v1-(v1*0.2)>v2 && v1-(v1*0.4)<=v2){
        delay(200);
    }else if(v1-(v1*0.4)>v2 && v1-(v1*0.6)<=v2){
        delay(50);
    }else{
        delay(10);
    }
}
if(sr-1<0){
    sr=0;
    servom.write(sr);
    delay(10);
}

```

```

        }
    }else{
        sr=servom.read();
        servom.write(sr);
        delay(10);
    }

    sr=servom.read();
    Serial.print("Servo position ");
    Serial.println(sr);
    delay(5);
}

cont=0;
}

//Fin    contról    servo    por    nivelación    lumínica
=====

//Hora=====

void hora(){
    Serial.print("Hora = ");
    Serial.print (x);
    Serial.print (":");
    Serial.print (Time[8]-48);
    Serial.print (Time[9]-48);
    Serial.print (":");
    Serial.print (Time[11]-48);
    Serial.println (Time[12]-48);
}

```

```

        Serial.print ("fecha = ");
        Serial.print (y);
        Serial.print ("/");
        Serial.print (Date[8]-48);
        Serial.print (Date[9]-48);
        Serial.print ("/");
        Serial.print (Date[11]-48);
        Serial.print (Date[12]-48);
        Serial.print (Date[13]-48);
        Serial.println (Date[14]-48);
    }
//Fin Hora=====

//velocidad del viento=====
void viento(){
    delay(1998); //Retardo de practicamente 2 segundo
    Serial.print("viento = ");
    Serial.print(cont*30); // calculo he imprimo rev por min
    Serial.print("  RPM  ");
    km = (cont*2*3.1416*0.11*1800)/1000; // calculo km/h
    Serial.print(km); //imprimo km/h
    Serial.println("  km/h");
    cont = 0;//reset cont
}

```

```

//Fin velocidad del viento=====
//Temperatura=====
void temperatura(){
  lm=analogRead(valtemp);
  delay(1000);
  temp=(((lm*5000.0)/1023)/10);
  Serial.print("Temperatura = ");
  Serial.print(temp);
  Serial.println(" °C ");
}
//Fin
Temperatura=====
=====

//humedad
relativa=====
=====

void humedad(){
  DHT.read11(DHT11_PIN);
  delay(100);
  Serial.print("Humedad = ");
  Serial.print(DHT.humidity);
  Serial.println(" %");
  Serial.println("_____");
}
//Fin
relativa=====
=====
humedad

```

```
//Comunicación=====
=====
```

```
void comunicacion(){
    if (km>=25 && u==0){ //Altos vientos capaces de hacer mecer
arboles pequeños entre 30 a 39km de velocidad
        sendsms();
        u=1;
    }else{
        if (km<25 && u==1){
            u=0;
        }
    }
    if (temp>=40 && t==0){
        sendsms();
        t=1;
    }else{
        if(temp<40 && t==1){
            t=0;
        }
    }
    if (DHT.humidity>=98 && h==0){
        sendsms();
        h=1;
    }else{
        if(DHT.humidity<98 && h==1){
            h=0;
        }
    }
}
```

```

    }
}
}
//Fin
Comunicación=====
=====

//Interrupción                                     Conteo
viento=====
=====

void interrupt2(){
    cont++; //incremento contador
}

//Fin                                     Interrupción                                     Conteo
viento=====
=====

//Motor DC APERTURA=====

void motora(){
    m1.run(FORWARD);
    m1.setSpeed(255);
    delay(2500);
    m1.setSpeed(0);
}

//Fin Motor DC APERTURA=====

//Motor DC CERRADO=====

void motorb(){
    m1.run(BACKWARD);
    m1.setSpeed(255);
}

```

```

    delay(2500);
    m1.setSpeed(0);
}
//Fin Motor DC CERRADO=====
//Mensaje=====
void sendsMS()
{
    delay(5000);
    Serial3.print("AT+CMGF=1\r"); // AT command to send SMS message
    delay(100);
    Serial3.println("AT + CMGS = \"3135651435\"); // recipient's
mobile number,
    delay(100);
    Serial1.println("enviando msm");
    Serial3.print("Hora = ");
    Serial3.println(x);
    Serial3.print("Temperatura = ");
    Serial3.print(temp);
    Serial3.println("Grados Centigrados ");
    Serial3.println("Humedad = ");
    Serial3.print(DHT.humidity);
    Serial3.println(" por ciento ");
    Serial3.print("Viento = ");
    Serial3.print(km); //imprimo km/h
    Serial3.println(" kmh");
}

```

```

    Serial3.println(" guardando paneles por condicion anormal...");
// message to send

    delay(100);

    Serial3.println((char)26); // End AT
command with a ^Z, ASCII code 26

    delay(100);

    Serial3.println();

    delay(5000); // give
module time to send SMS
}

//Fin mensaje=====
void cerrado(){
    while(sr<130){
        sr=sr+1;
        servom.write(sr);
    }
    if(c1==1){
        motorb();
        c1=0;
    }
}
}

```