



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño y construcción de un prototipo de seguidor solar para el control del movimiento de placas fotovoltaicas. Análisis teórico de la ventaja de un tercer movimiento prismático.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

AUTOR/A: Mínguez Gómez, Pedro

Tutor/a: Berjano Zanón, Enrique

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2022/2023

TRABAJO DE FIN DE GRADO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR
SOLAR PARA EL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA VENTAJA DE UN
TERCER MOVIMIENTO PRISMÁTICO**

DOCUMENTO 1. MEMORIA

AUTOR: Pedro Mínguez Gómez

TUTOR: Dr. Enrique Berjano Zanón

Índice

1. OBJETIVO	3
2. ANTECEDENTES	3
2.1 PROBLEMÁTICA 1	4
2.2 PROBLEMÁTICA 2	5
2.3 PROBLEMÁTICA 3	5
3. ESPECIFICACIONES	7
4. SOLUCIÓN TÉCNICA	8
4.1 RECEPCIÓN DE LA SEÑAL	8
4.2 ACONDICIONAMIENTO	10
4.3 CONVERSIÓN ANALÓGICA-DIGITAL	12
4.4 μCONTROLADOR	12
4.5 EJES DE REVOLUCIÓN	13
4.6 EJE PRISMÁTICO	15
5. DESCRIPCIÓN DETALLADA	16
5.1 ESTRUCTURA	16
5.1.1 Base:	16
5.1.2 1 ^º Eje:	17
5.1.3 2 ^º Eje:	18
5.1.4 Decisiones finales y resultado:	19
5.2 ELECTRÓNICA	20
5.2.1 Alimentación	20
5.2.2 Fotodiodos	21
5.2.3 Circuito	23
5.2.4. FILTRO:	29
5.3 SOFTWARE	33
5.3.1 Flujograma y código	33
5.3.2 Optimización y resultado final	44
5.4 CONTROL DE FUNCIONAMIENTO	46
5.4.1 Área de trabajo:	47
5.4.2 Imprecisión y errores de medida:	48
5.4.3 Singularidades no deseadas:	49
6. EJE PRISMÁTICO	51
7. CONCLUSIÓN	57
8. REFERENCIAS	58

1. Objetivo

El siguiente proyecto está destinado al desarrollo de una maqueta a pequeña escala de un sistema fotovoltaico, el cual, buscará la optimización energética. Esto se logrará mediante un seguidor solar conformado por 4 sensores lumínicos, que, separados mediante una serie de barreras buscarán la dirección del sol. Dicha información, será procesada mediante un microcontrolador, que calculará la respuesta y mandará las instrucciones necesarias para articular diferentes motores, posicionándose así, en la orientación deseada. Por último, una vez realizada dicha maqueta, se evaluará la posibilidad de un 3° eje, el cual, ofrecerá una serie de ventajas y desventajas a valorar.

2. Antecedentes

Actualmente, con los constantes avances tecnológicos y la decadencia de recursos no renovables, se ha generado una gran necesidad de, no solo, producir energías renovables, si no también, optimizarlas. Una de las elecciones más frecuentes y asentadas en la sociedad son los paneles solares. Ésta es la primera opción y la más accesible en las viviendas de toda clase económica.

Esto se debe a factores como:

- Costes de producción y transporte menores que en otras instalaciones
- Facilidad de montaje y puesta en marcha
- Mayor capacidad de adaptación económica
- Accesibilidad alta, al solo requerir de una superficie correctamente iluminada

Tras ejercer como empleado de una empresa de instalaciones de energías renovables, observé que, a pesar de estas ventajas, surgen a su vez tres principales problemáticas a la hora de optar por las instalaciones fotovoltaicas:

- Incidencia indirecta debido a las primeras horas del día y la latitud a lo largo del año
- Superficies no inclinadas correctamente hacia el sur
- Generación de sombras entre placas produciendo una falta de espacio

2.1 Problemática 1

La trayectoria de la luz (Fig.1) a lo largo del año es distinta debido a la inclinación de la tierra y la rotación de esta sobre el sol.

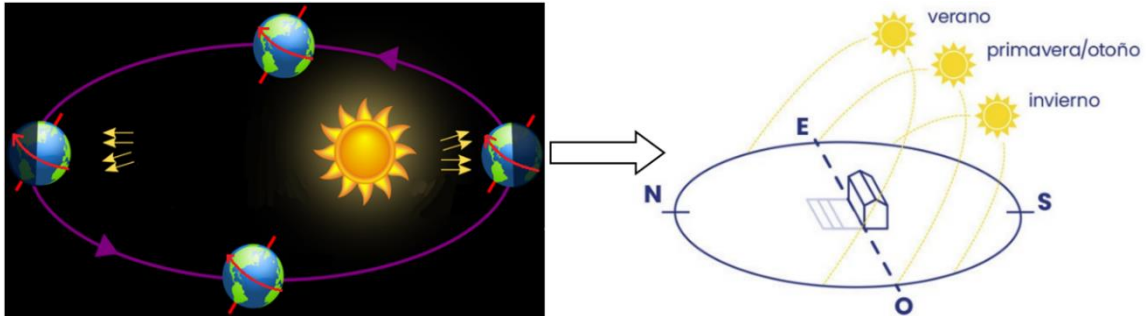


Figura 1: Rotación de la tierra y efecto que ello produce sobre la superficie.

La Figura 2 muestra cómo, visualizando el tejado de un hogar cualquiera mediante una perspectiva cartesiana, la posición del sol no solo rota sobre el eje Z, sino también, sobre el eje X.

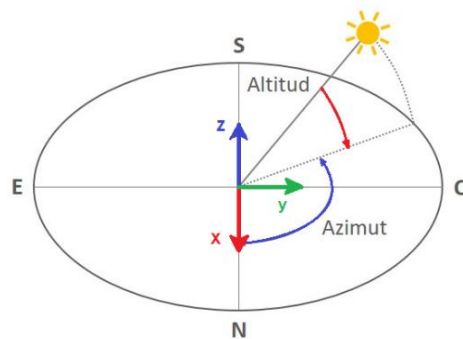


Figura 2: Giros necesarios para obtener la posición del sol respecto al siguiente sistema de referencia.

Aparentemente, la solución más sencilla sería programar un patrón, ya que el sol todos los años hace el mismo recorrido y se podría simplemente “predecir” su posición sin necesidad de detectarla. Sin embargo, aquí entra la siguiente problemática.

2.2 Problemática 2

Cada vivienda es una base distinta de la cual partir, que cambia de orientación e inclinación por la variedad de tejados existentes, sobre todo en pueblos y pequeñas ciudades, donde el diseño de estas es más antiguo e irregular. Además, las caóticas distribuciones de los edificios como el de la Figura 3 producen unos ángulos de incidencia completamente distintos dependiendo de la superficie de la que se parta.

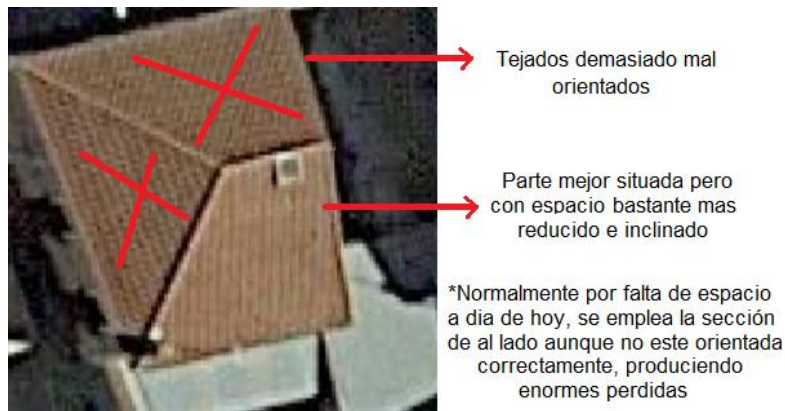


Figura 3: Ejemplo de un tejado típico de una pequeña ciudad.

Esto produce un recorrido distinto respecto a cada tejado, teniéndose que crear un patrón personalizado para cada vivienda en caso de no emplear sensores.

2.3 Problemática 3

El último factor es el espacio entre placas debido a las sombras que ellas mismas se producen (Fig. 4). Problema el cual, se agranda enormemente con el uso del seguidor solar.

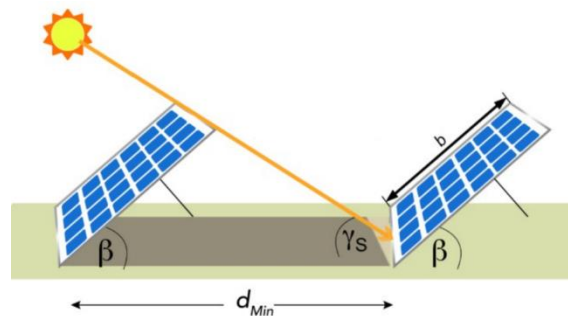


Figura 4: Sombra generada por la incidencia del sol en un ángulo cualquiera.

El cálculo de las sombras [1] (en superficies horizontales) se realiza de la siguiente forma:

$$d_{min} = b \cdot \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin(\gamma_s)} \quad (1)$$

Donde:

- d_{min} : Distancia mínima entre placas
- b : Alto de la placa
- γ_s : Ángulo del sol sobre la superficie terrestre (Latitud)
- β : Ángulo de inclinación del panel

Para hacer un correcto cálculo de la distancia, se debe tomar el peor de los casos, es decir, el solsticio de invierno donde más amplia es la sombra. En este, el sol se encontrará con un ángulo de $27,5^\circ$ y, por tanto, la placa al estar perpendicular con el seguidor necesitará una inclinación de:

$$\beta = 180 - 90 - \gamma_s = 62.5^\circ \quad (2)$$

A modo de referencia se tomará un panel monocristalino de 500 W JAM66S30 de DEEP BLUE 3.0 [2] con unas medidas de alrededor de 2 x 1.1 metros.

Teniendo esto en cuenta y que el panel se situaría de forma vertical ($b=2$ metros), se llega a la conclusión de que se requiere de al menos:

$$d_{min} = 2 \cdot \frac{\sin(27.5 + 62.5)}{\sin(27.5)} = 4.4 \text{ m}$$

Se requieren de separación entre paneles si se van a emplear seguidores, lo que produce una falta de espacio enorme al tener que dejar distancias tan grandes.

Por otro lado, no se podrían juntar lateralmente ya que en el peor de los casos (al amanecer) el sol partiría en el horizonte con un ángulo de 0° sobre la superficie terrestre produciendo pérdidas por sombras independientemente de la distancia que se deje entre placas. Habría que suponer un ángulo mínimo sobre el que trabajar aceptando esas pérdidas y teniendo en cuenta que a partir de ahí, es donde funcionarían correctamente todas ellas.

Como pueden ser unos 15° :

$$d_{min} = 1.1 \cdot \frac{\sin(15 + 75)}{\sin(15)} = 4.2 \text{ m}$$

El INE (Instituto Nacional de Estadística) [3] nos aporta un estudio acerca de la superficie promedio de las viviendas (Fig. 5), que, aunque no es muy acertado (debido a que la superficie como tal no tiene por qué traducirse en m² de tejado, ya que los pisos alteran probablemente el resultado) valdría para visualizar a rasgos generales el problema actual.

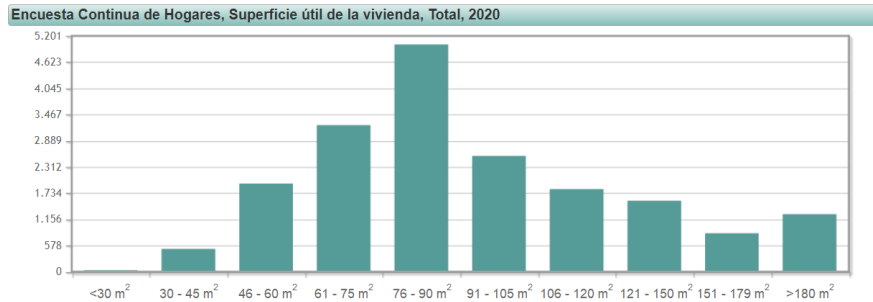


Figura 5: Estudio del INE acerca de los m² de las superficies útiles en el 2020.

Como se puede apreciar, el grueso de la población tiene entre 60 y 100 m², un espacio de por sí no muy amplio. Teniendo en cuenta que en el mejor de los casos, con 100 m² y una superficie horizontal donde hay que dejar en torno a 4.2 m de largo y 4.4 de ancho:

$$N = \frac{\text{Superficie}}{((d_{min} + b) \cdot (d_{min} + h))} = \frac{100}{((4.2 + 1.1) \cdot (4.4 + 2))} = 3.04 \text{ Paneles} \quad (3)$$

Esto hace que los seguidores solares sean una opción muy poco buscada para usos más cotidianos como el hogar. Por muy optimizado que esté el proceso, 3 paneles a máximo rendimiento no son suficientes. El consumo típico de la población es mucho mayor que 1.5 kW/h. Por todo ello, se valorará la inclusión de un tercer eje, para intentar evitar esos ~ 4 metros de distancia aumentando enormemente la cantidad de paneles instalables.

3. Especificaciones

Partiendo de los antecedentes mencionados anteriormente, se desea diseñar un sistema cuyo funcionamiento resuelva lo planteado. Con ello, se logrará no solo aumentar el número de paneles sino, además, maximizar el rendimiento de estos. En primer lugar, la luz se emitiría desde un punto cualquiera en el espacio de coordenadas X/Y/Z incidiendo sobre 4 sensores. Dependiendo de la cantidad de energía recibida por cada uno de ellos, se enviarán señales de distinta amplitud a un sistema de acondicionamiento de señal, y un convertor analógico-digital adaptando la señal a recibir por el microcontrolador. Este, interpretará la información recibida y decidirá la orientación del sistema accionando 2 ejes de revolución. Al mismo tiempo, el propio microcontrolador se encargará del manejo de una 3^o articulación prismática que tendrá como objetivo controlar la altura del panel, evitando así,

la generación de sombras y logrando un sistema más compacto. Por último, la estructura debe permitir el libre movimiento del panel y repartir correctamente el peso sobre la superficie.

4. Solución técnica

En base a las especificaciones, se analizará cada uno de los componentes del sistema entendiendo y desarrollando su funcionamiento más básico y, a raíz de ello, puntualizando las ventajas y desventajas existentes para finalmente escoger lo más conveniente para este sistema en particular (Fig. 6).

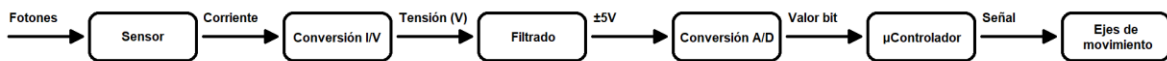


Figura 6: Diagrama de bloques del seguidor solar.

4.1 Recepción de la señal

La señal a medir es la radiación solar. Dicha energía puede ser tomada de múltiples formas; este diseño se centrará en los fotodiodos de la Figura 7. Así mismo, se analizará su funcionamiento, las ventajas y los motivos por los que ha sido elegido, además de profundizar sobre el modelo seleccionado.

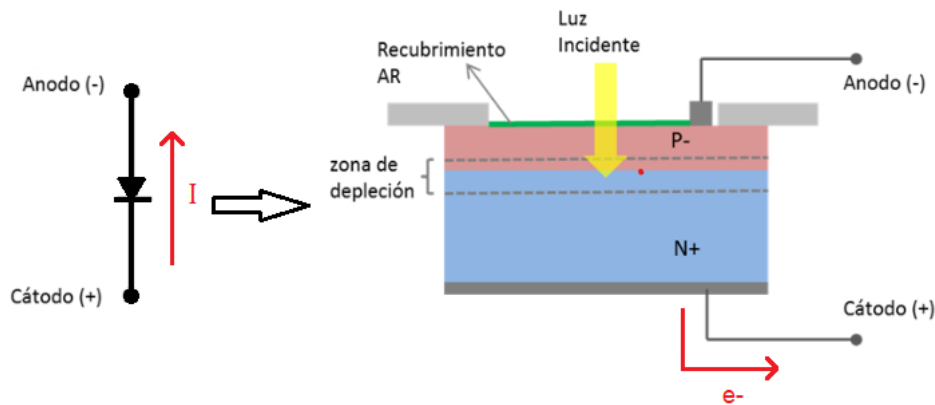


Figura 7: estructura interna y funcionamiento de un fotodiodo. [4]

Como se puede apreciar en la imagen, el fotodiodo es similar a un diodo común, el cual, al someterse a una tensión de bloqueo, absorbe la luz en forma de fotones y se almacenan en la zona de depleción o “zona neutra”. Mediante una serie de procesos químicos y por la falta de espacio donde almacenar estas cargas, los fotones se mueven energéticamente en forma de electrones y salen de la unión N+ formando una corriente. Proceso que, aunque

físicamente siempre vaya en sentido contrario y, por tanto, salgan por el cátodo; la teoría de la electricidad contempla su sentido inverso (de positivo a negativo).

Las principales ventajas de este componente respecto a otros del campo, como por ejemplo los LDR; es la velocidad de respuesta ante cambios abruptos, ofreciendo una adaptación más rápida y una generación de ruido notablemente menor con la que poder filtrar la señal más fácilmente, dando así, un sistema más preciso y avanzado. Por otro lado, también se presentan varias desventajas, entre ellas, la generación de valores pequeños con los que trabajar, requiriendo de un transistor o amplificador operacional (AO). Además, da lugar a un diseño más complejo, encareciéndose ligeramente respecto a los LDR o los fototransistores.

La complejidad del diseño no es un problema, más bien nutre el proyecto. Además, es conveniente trabajar con bajos valores de tensión y corriente al producir pérdidas de potencia muy bajas. Por ello, se decidió que el empleo de fotodiodos es lo ideal para una aplicación como esta.

Una vez tomada esta decisión, se escoge el modelo. El mercado ofrece una gran variedad y dependiendo de la distribuidora, se pueden encontrar unas características u otras. En “RS Components” existe una gama en particular que cabe destacar: los circuitos integrados especializados en Arduino (Fig. 8). Estos son muy útiles y recomendables para un proyecto a gran escala o un producto final, ya que facilita mucho el diseño e implementación.

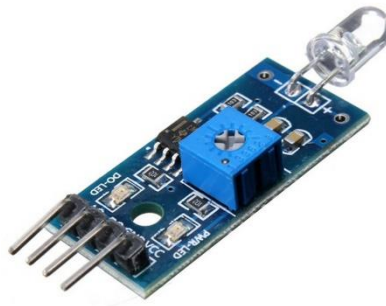


Figura 8: fotodiodo integrado LM393 REF. 108.MD9219.

Esta idea se ve descartada al no adecuarse correctamente a la maqueta previamente diseñada. A su vez, facilita demasiado el diseño al venir con un sistema de adaptación de señal incluido, evitando tener que crear uno a parte.

Por último, puesto que es un proyecto para probar la viabilidad del sistema y teniendo en cuenta las dimensiones y estructura de la maqueta, se optó por un fotodiodo de bajo coste con tamaño reducido como es el: SFH 203FA OSRAM 10-1-2014 [5] (Fig. 9)



Figura 9: fotodiodo empleado (SFH 203FA).

4.2 Acondicionamiento

En base a lo mencionado anteriormente, se desea diseñar un sistema que adecue la señal de salida para poder operar con ella. Generalmente, se trabaja mejor con valores de tensión que de corriente, por ello, se ha propuesto inicialmente un convertor corriente/tensión mediante el amplificador operacional de la Figura 10 con el siguiente funcionamiento:

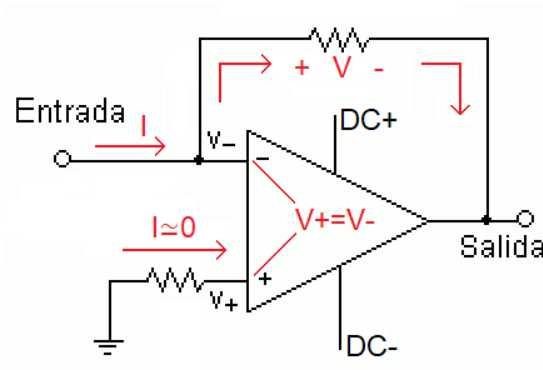


Figura 10: Funcionamiento básico de un AO como convertidor de corriente / tensión.

Como se puede apreciar en la imagen, las corrientes de fuga de los terminales positivo y negativo son muy próximas a 0, produciendo una tensión prácticamente equivalente ($V_+ = V_-$). Gracias a esto, se obtiene una impedancia de entrada muy elevada, pudiendo inducir la corriente generada sin verse distorsionada. Consiguiendo así, que la salida varíe en función de la caída de tensión que se provoque sobre la resistencia:

$$V_{out} = (I_{in} \cdot R) + V_+ \quad (4) \quad \text{Donde: } V_+ = 0 \text{ y } R = const$$

Obteniendo un valor de tensión directamente proporcional a la corriente de entrada.

Es importante conocer este principio de los AO para así poder entender las causas del uso de esta metodología y la elección de componentes.

El primero de los factores a tener en cuenta, es el ya mencionado: “impedancia de entrada elevada”. En la elección de sensor se trató la idea de que los fotodiodos generasen valores muy pequeños con los que trabajar, esto implica que cualquier tipo de pérdida o alteración de la señal, produciría un alto error sobre el resultado final. Por ello, se debe emplear alguna metodología que no consuma esa poca energía generada y evite esas pérdidas. Aquí es donde entra el valor de impedancia, que se entiende como: la resistencia que opone un componente a que la energía circule por él, consiguiendo manipular valores del sistema con el mínimo error posible. Esto es algo que muy pocos componentes te pueden ofrecer, dejando el AO como principal propuesta.

Otro factor a tener en cuenta es la facilidad del diseño. Los transistores tienen la capacidad de amplificar la corriente aumentando el valor generado por el fotodiodo para trabajar con valores más manejables. Esta preamplificación además de añadir más componentes y pérdidas energéticas traducibles en pérdidas económicas, cuenta con el problema de que, al aumentar el valor de la señal generada, también aumenta el ruido producido. Este resultado no es conveniente y complica el circuito, teniendo que mitigar todos estos problemas.

El último de los requisitos y el definitivo, pasa por la diferencia existente entre los modelos rail to rail y los convencionales. Los AO “Rail to Rail”, bajo las mismas condiciones de alimentación, tienen la capacidad de trabajar con un rango de tensión de salida mayor que los convencionales. Un AO alimentado de +5 V a -5 V, tendrá una tensión de salida máxima de ± 5 V, mientras que los de una gama más baja perderán en torno a 1-2 V de rango dependiendo del modelo y las especificaciones. Sabiendo esto, las opciones se reducen a un AO sin sistema de amplificación por corriente (sin transistor), con corrientes de fuga muy bajas y Rail to Rail.

Existe una gran variedad de productos con distintas prestaciones, el principal problema que surge es que en caso de existir un modelo de dichas características, es complicado de conseguir. Por ello, y debido a que no se pudo obtener modelos JFET-Rail to Rail, se ha optado por escoger el siguiente modelo: TL081CP TEXAS INSTRUMENTS [6], el motivo es que está constituido internamente por transistores JFET, siendo estos los que mayor impedancia de entrada ofrecen (absorbiendo valores de menos de 1 nA con los que poder trabajar). Ante estas condiciones, la solución será trabajar con un rango menor de 2-3 V, aceptando esa pérdida del máximo/mínimo que se puede dar.

4.3 Conversión Analógica-digital

Una vez la señal salga del filtro adecuando correctamente la onda, faltaría convertirla a un valor digital con el que poder trabajar a nivel informático. Para ello, simplemente se utilizará el propio microcontrolador, el cual tiene la capacidad de procesar señales analógicas y convertirlas automáticamente en señales digitales a través de lenguaje de programación.

Arduino cuenta con 8 pines de entrada analógica con una resolución de 10 bits, lo cual implica que la señal podrá ser fragmentada hasta en $2^{10} = 1024$ partes. En la descripción de la solución se calculará el resto de factores a tener en cuenta a la hora de cohesionar todas las partes, como por ejemplo, el rango o la precisión de la señal de salida.

Se empleará este método debido a su facilidad de implementación y diseño, ya que, al ser una característica adicional incluida en el propio microcontrolador, la opción más lógica es no dificultar el circuito ni encarecerlo empleando un conversor externo, incluso si esto proporciona una mayor precisión al poderse fraccionar en menores partes.

4.4 μ Controlador

En el proyecto se realizará una maqueta a pequeña escala y de manera meramente experimental, con lo que, se comprobará el funcionamiento y la viabilidad del producto diseñado. Del mismo modo, no se espera buscar componentes demasiado complejos, que aunque mejoren el rendimiento, encarezcan demasiado el diseño. La idea es emplear el microcontrolador “Arduino nano” (Fig. 11) ya que es de fácil acceso, asequible y cumplirá adecuadamente su propósito; además, es un tamaño más que adecuado para un modelo pequeño.



Figura 11: Microcontrolador tipo Arduino nano. [7]

Dado que para esta aplicación no se necesitan placas muy complejas con una amplia gama de configuraciones, sería ideal fabricar una PCB (Printed Circuit Board) en particular que recoja los componentes estrictamente necesarios. Además, el control de múltiples procesos simultáneos no es el principal enfoque de este proyecto al tener un único ciclo válido para todos los productos, generando así, que una gran parte del microcontrolador quede obsoleta. Aunque los PCB's carezcan de flexibilidad, es algo que tampoco se busca por lo mencionado anteriormente.

La Figura 12 muestra el plano de conexiones de un Arduino nano.

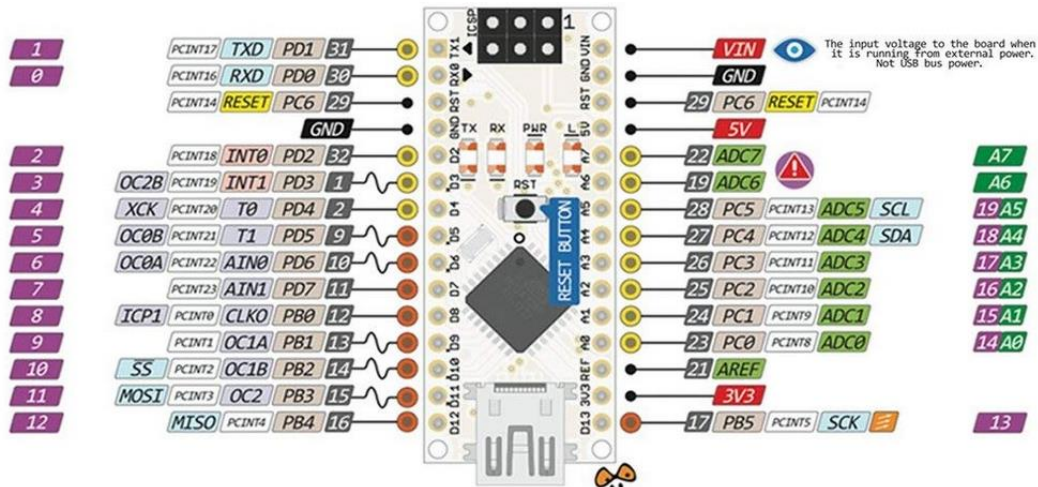


Figura 12: Diagrama de los pines de Arduino nano. [8]

4.5 Ejes de revolución

Una vez diseñado el circuito hasta el microcontrolador, toca la respuesta de salida. La idea de este proyecto ahora es que Arduino, mediante los pines de salida digital, envíe una señal a distintos servomotores (Fig. 13) para rotar un ángulo determinado cada uno y orientar así el panel.



Figura 13: Servomotor a emplear modelo SG90 [9].

Los servomotores suelen ser la opción principal a la hora de diseñar rotaciones precisas de un ángulo determinado. Esto se debe a que un motor convencional transforma directamente la potencia introducida en una fuerza par rotativa, y cuanto mayor sea la potencia, mayor será la fuerza y la velocidad. Por lo general, estos pueden funcionar tanto con corriente alterna como continua. En cambio, el principio de funcionamiento de los servomotores es mediante pulsos precisos (ondas cuadradas), los cuales dependiendo del ancho que tenga la parte positiva de la onda, girará un ángulo determinado consiguiendo controlar cuánto se desea que gire (Fig. 14).

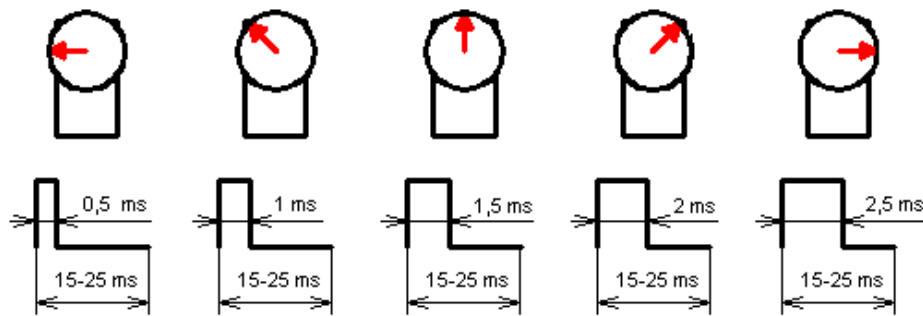


Figura 14: Funcionamiento básico de los servomotores. [10]

Se eligió un modelo de servomotor convencional debido a estos beneficios y al hecho de que hacer un modelo a pequeña escala es más práctico cuando se necesita precisión y costos más bajos. Por lo tanto, lo último que se necesitará son 2 articulaciones robóticas (Fig. 15) con las que permitir el movimiento de los servomotores.

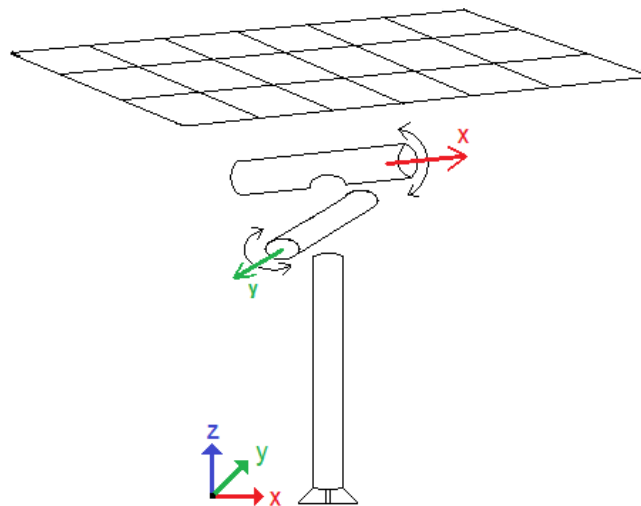


Figura 15: Dos primeros ejes del sistema y sus respectivas rotaciones.

Esto último es simplemente un boceto realizado de la idea a desarrollar. Dado que se deben tener en cuenta muchas de las condiciones ya mencionadas a lo largo del proyecto, como la presión de la placa sobre la superficie, en la descripción de la solución se hará un análisis más profundo del diseño de la estructura.

4.6 Eje prismático

El tercer eje del sistema es de tipo prismático, lo que significa que permite un movimiento rectilíneo a lo largo de uno de los ejes del sistema de referencia, en este caso, el eje Z. Con ello, se conseguirá alzar o bajar ligeramente la placa para no recibir sombra de otras. Este movimiento se logrará con un servomotor y engranajes con los que transmitir el par revolución a par prismático (Fig. 16).

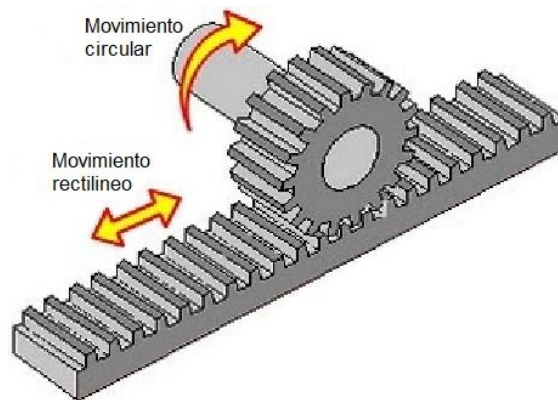


Figura 16: Mecanismo piñón-cremallera.

Si tuviese que implementarse en esta maqueta, la idea sería emplear un servomotor también para este eje debido a que no es necesario alzar grandes distancias y más bien se requiere de precisión, aunque a lo largo del diseño se mostraría un diseño con un motor de corriente continua (DC) para en caso de llevarse a un caso práctico a gran escala y en el cual la precisión no sea ya tan importante debido a los mayores márgenes de error que se tienen con un panel de 2 m².

5. Descripción detallada

Como se puede observar en la Figura 17, el proyecto se divide en tres subsistemas denominados: Electrónica, Estructura y Software; ramificándose en el resto de las partes más específicas. La idea de este apartado es el desarrollo en profundidad del montaje, incluyendo cálculos, especificaciones, pruebas y otras características relevantes. El análisis de viabilidad del 3º eje se realizará una vez finalizado el proyecto final.

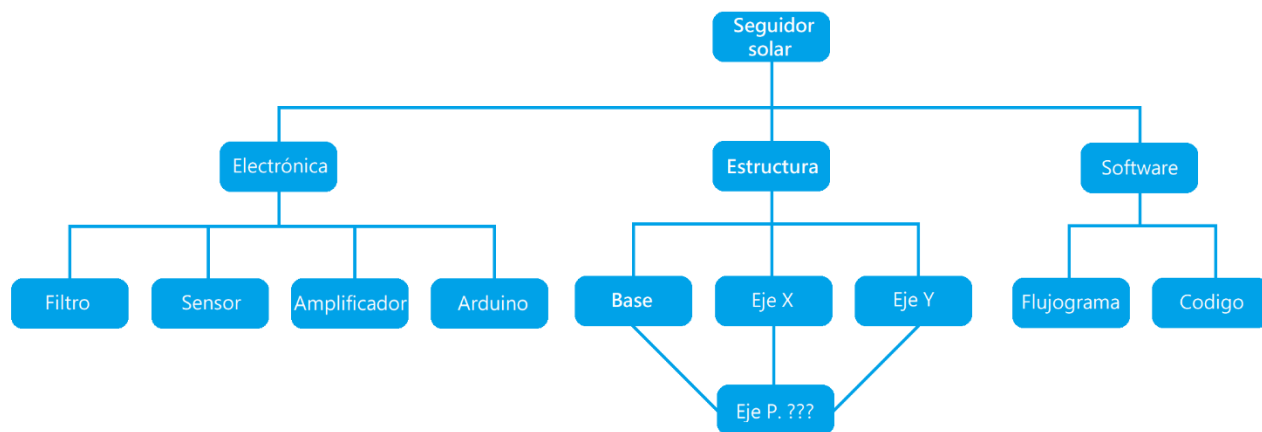


Figura 17: Organigrama técnico del proyecto.

5.1 Estructura

El inicial en la maqueta, esta se encargará de sostener el sistema a la vez que permite el libre movimiento. Primero se buscó información en internet de diseños ya existentes de los cuales partir, que servirían para tener una idea más clara del resultado final, tras encontrar el siguiente corte laser [11] se realizaron todas y cada una de las modificaciones pertinentes para convertirlo en una maqueta profesional con su debido diseño, medidas y resultado final detallados en el apartado de planos.

5.1.1 Base:

La parte de la estructura mostrada en la Figura 18, ha sido pensada para evitar el contacto directo del microcontrolador con posibles superficies conductoras o cargadas electrónicamente. Está compuesta por un panel plano, con dimensiones suficientemente grandes para albergar todos los componentes electrónicos necesarios. Por otro lado, tenemos cuatro pilares que sirven para alzar el primer eje dejando el respectivo espacio para el correcto funcionamiento del servomotor. Dando lugar el siguiente resultado:

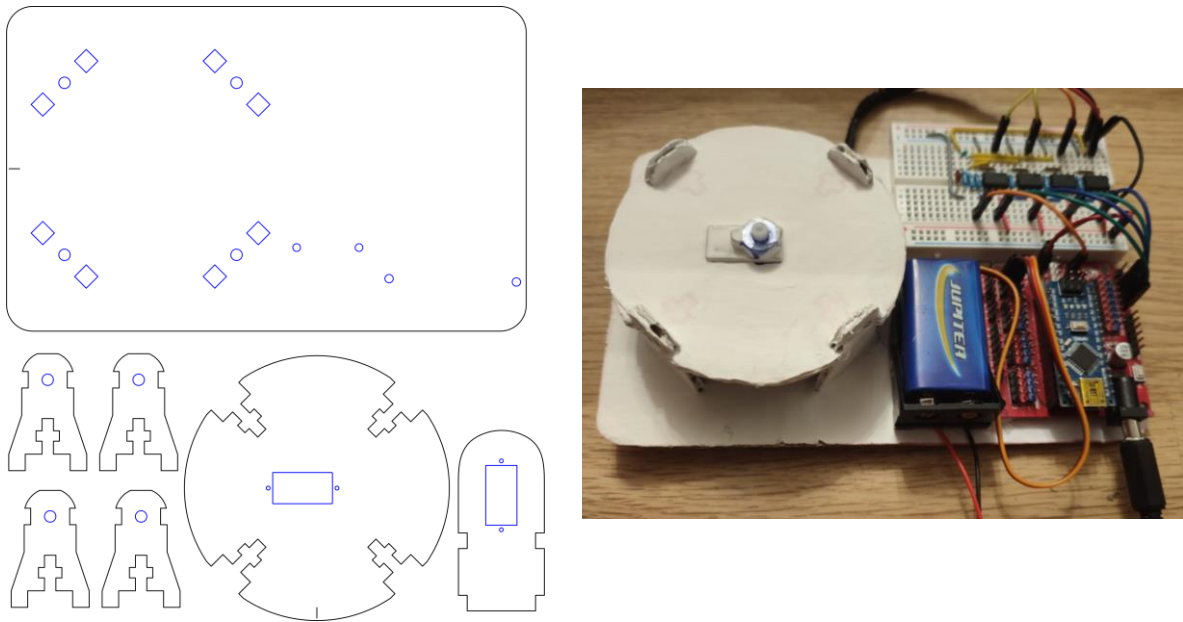


Figura 18: Corte y montaje de la base del seguidor solar.

5.1.2 1º Eje:

La siguiente estructura presentada en la Figura 19, es la encargada de transmitir la rotación del motor mencionado anteriormente, al resto de la estructura, permitiendo la orientación del efector final en el eje de abscisas. Está compuesto de una estructura circular a modo de unión entre el eje y el resto de los componentes; y una segunda parte construida en forma de “U” con la finalidad de sostener el último servomotor, a la vez que permite el movimiento del último eje.

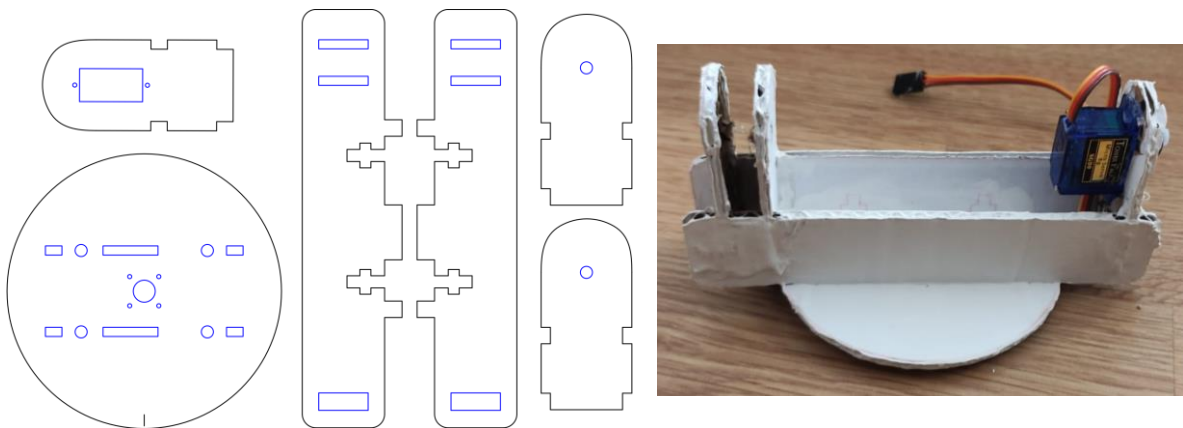


Figura 19: Corte y montaje del primer eje.

5.1.3 2º Eje:

Esta última parte señalada en la Figura 20, se ha diseñado con la intención de ser la encargada de sostener, tanto los sensores, como el panel fotovoltaico, en un mismo plano. De este modo, se puede garantizar que los fotodiodos se encuentren bien orientados, y ello condicione a su vez, que el panel se encuentre en la posición correcta sin tener que requerir de cálculos o motores adicionales.

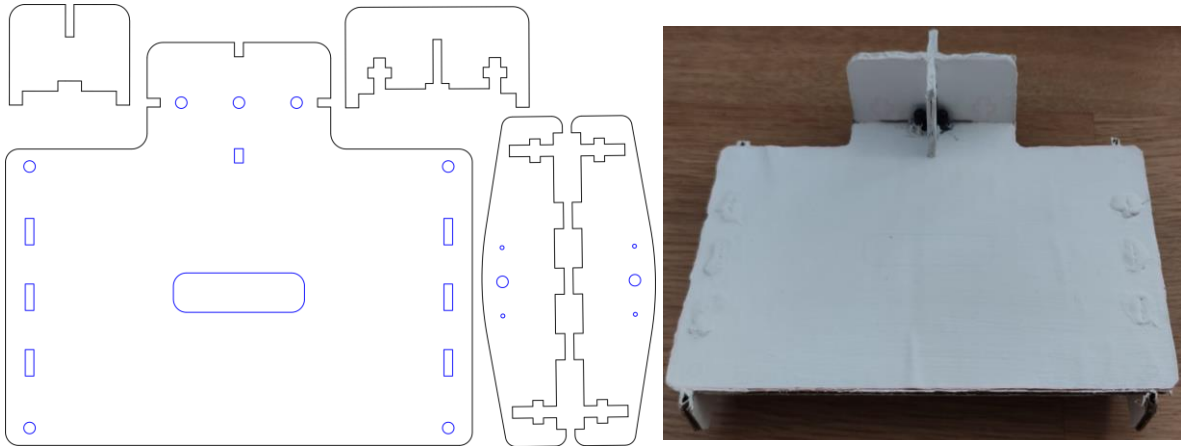


Figura 20: Corte y montaje del segundo eje.

Este se compone de las siguientes piezas: la transmisión del movimiento del 2º eje, un panel con dimensiones suficientes para la colocación de la placa y los sensores, y una plataforma de 4 paredes. Esta última parte es importante remarcarla, pues impedirá la iluminación de los sensores en el caso de que no esté correctamente orientada. Para evitar errores de medición debido a una colocación incorrecta de los fotodiodos, es conveniente que el espacio entre ellos sea el óptimo. El resultado final de ello da lugar a la Figura 21.

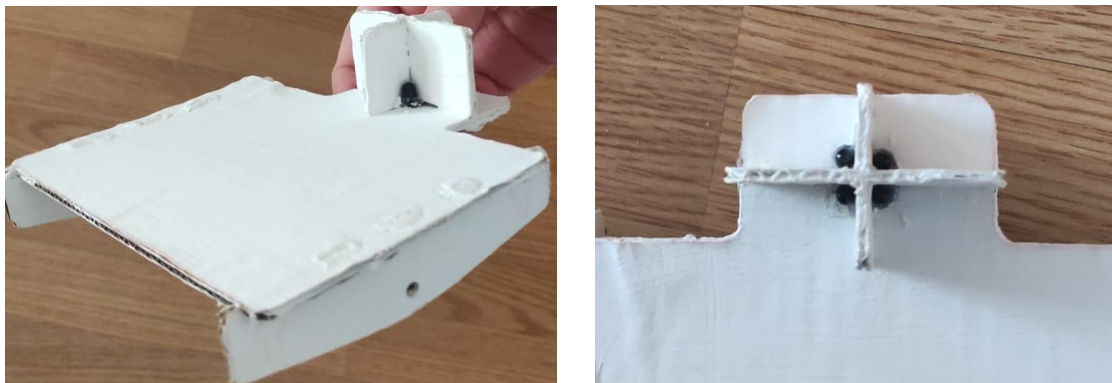


Figura 21: resultado final del segundo eje.

5.1.4 Decisiones finales y resultado:

Finalmente, se optó por seleccionar los materiales adecuados para el trabajo. En las imágenes previas, se puede observar el uso de cartón en lugar de madera, debido a consideraciones económicas y la posibilidad de reutilizar materiales, lo cual resultó más conveniente para una maqueta de estas dimensiones. Se decidió utilizar un grosor de 3 mm en el cartón para reducir al máximo el peso total sin comprometer demasiado la firmeza de la estructura. En cuanto a la pintura, se eligió una alternativa de color blanco con características antihumedad, ya que, al reflejar la luz, parecía ser la elección más adecuada para prevenir la acumulación de calor y energía en áreas de la estructura donde no era deseada. Además, la capa de pintura ofrece una leve protección contra la humedad, lo cual es conveniente al tratar con un material altamente susceptible a ella.

La Figura 22 muestra la maqueta final una vez montadas, pintadas y ensambladas todas las piezas.

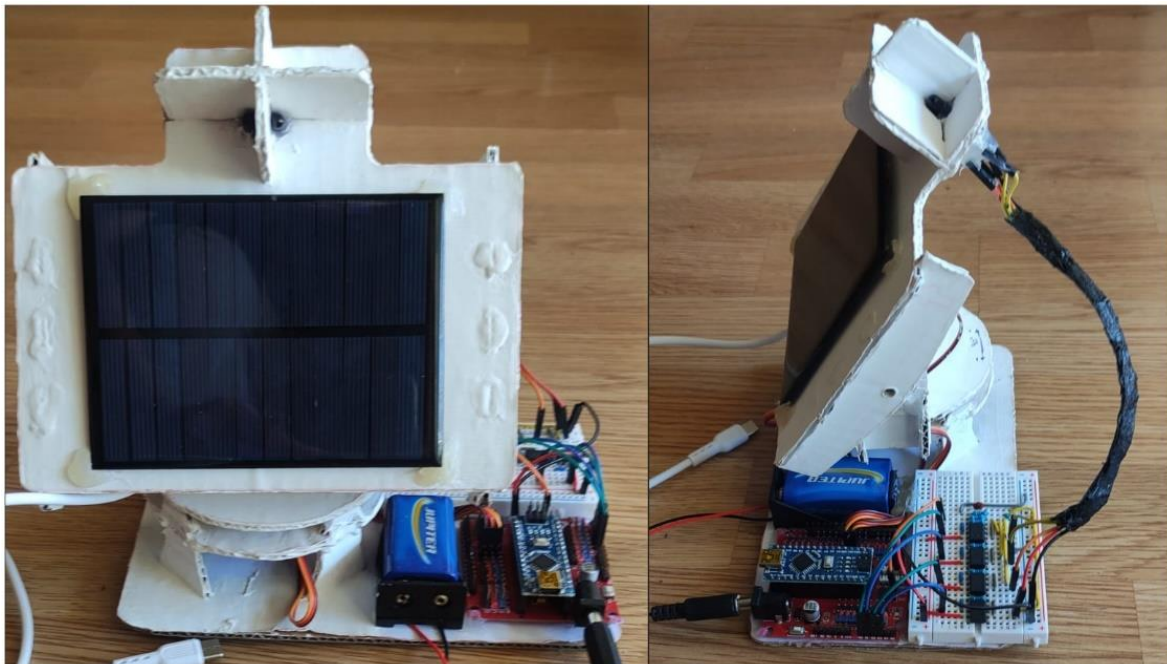


Figura 22: Maqueta completa del seguidor solar.

5.2 Electrónica

El siguiente diseño es del circuito de control. En él, una vez escogidos los materiales se pensaron las conexiones necesarias, calculando los valores de cada componente e incluyendo el sistema de alimentación.

5.2.1 Alimentación

El objetivo del producto es permitir su funcionamiento autónomo una vez programado, sin requerir una conexión USB al sistema de control. Para lograrlo, es necesario contar con un sistema de alimentación independiente, que puede implementarse mediante dos métodos distintos según la situación.

Normalmente, el sistema obtendrá energía directamente del panel solar. Este, estará conectado en paralelo, suministrando energía tanto al microcontrolador como al dispositivo que se desee conectar, como, por ejemplo, el cargador móvil mostrado en la Figura 23.



Figura 23: cargador móvil alimentado por el panel instalado al seguidor solar.

Sin embargo, surge un problema cuando el sistema se enfrenta a días nublados, atardeceres o momentos en los que no hay suficiente luz solar. En estas situaciones, es necesario que el sistema siga funcionando para poder detectar cuando vuelve a haber radiación solar. Para abordar este inconveniente, se requiere alimentar la placa de forma independiente o externa utilizando una batería alcalina de 9 V y un adaptador para el puerto Jack, como se muestra en la Figura 24.



Figura 24: batería de 9 V para alimentación del microcontrolador.

En este caso en concreto, se presentan ciertas complicaciones debido al tamaño reducido de la maqueta y al panel solar mencionado previamente, que proporciona una salida de 6 V. Esta cantidad de energía no es suficiente para hacer funcionar la maqueta de manera autónoma sin que la batería tenga que trabajar constantemente. Sin embargo, a pesar de esta limitación, la incorporación de un sistema de realimentación incrementa significativamente la durabilidad de la batería.

5.2.2 Fotodiodos

5.2.2.1 Calculo teórico

Los fotodiodos como ya se ha comentado anteriormente son los SFH 203FA, en su hoja de datos el fabricante [12] comenta lo siguiente:

Como se puede apreciar en la Figura 25, el comportamiento de la corriente “ I_p ” entregada por el semiconductor es directamente proporcional a la cantidad de luz que recibe (medida en lux). Al buscar información sobre la luz emitida por el sol, se ha concluido que su intensidad puede alcanzar valores entre 60,000 y 100,000 lux en condiciones óptimas. Estos valores se logran más fácilmente cuando las condiciones son ideales y se maximiza la cantidad de luz disponible, hecho que precisamente se busca con este proyecto, llegando probablemente a ese valor máximo.

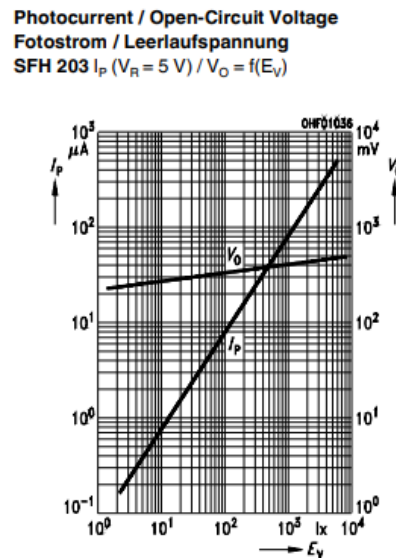


Figura 25: Grafica del comportamiento del fotodiodo en función de la luz.

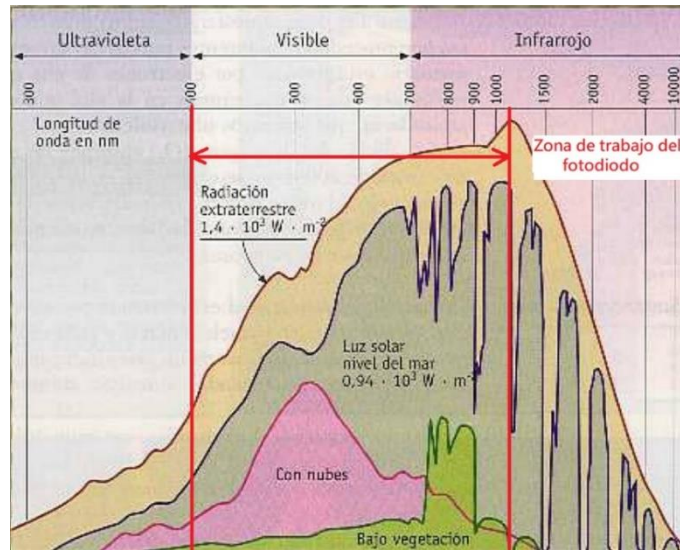


Figura 26: Espectro lumínico total y el absorbido por el fotodiodo.

Sin embargo, esto no garantizará necesariamente una corriente de salida de $10^4 \mu\text{A}$, principalmente debido a que el semiconductor tiene una longitud de onda máxima que puede retener como se observa en la Figura 26, haciendo imposible obtener el 100% de la energía emitida. Además, la cantidad de corriente generada es algo trivial y depende de la situación específica de cada proyecto. Factores como la época del año, la intensidad de la luz emitida, la tensión de bloqueo aplicada al diodo y la posición también afectarán estos resultados.

Según lo mencionado, se puede concluir como hipótesis que la corriente máxima de este modelo probablemente se encuentre alrededor de los $10^3 \mu\text{A}$, pudiéndose superar en condiciones ideales. A fin de cuentas, lo recomendable para casos como este será realizar pruebas experimentales propias y establecer un margen de error para garantizar un funcionamiento adecuado ante posibles cambios climáticos.

5.2.2.2 Experimentación:

Después de completar la maqueta y preparar los cuatro muros, se llevó a cabo la comprobación de lo mencionado. Se ubicó un fotodiodo en el tercer cuadrante y, utilizando el circuito de acondicionamiento de la Figura 27, se realizó la medición del valor máximo de corriente que podía llegar a generarse.

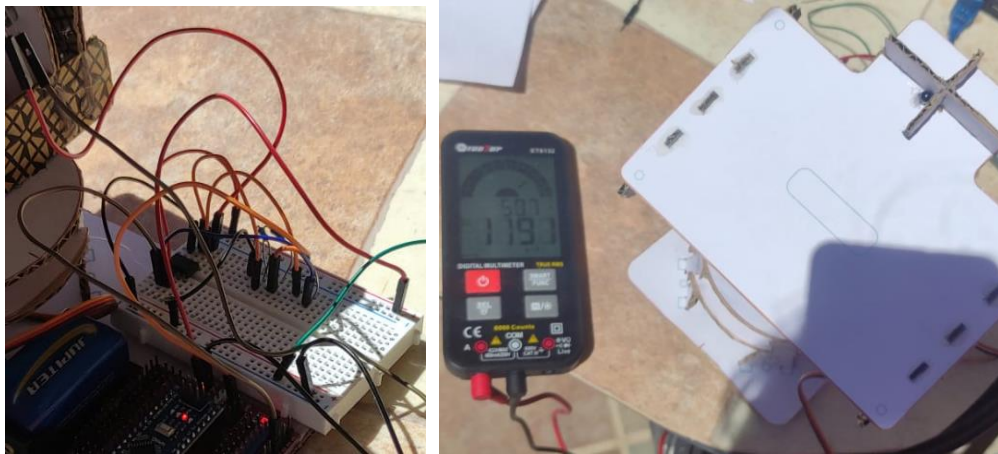


Figura 27: Circuito para la comprobación del valor máximo del fotodiodo.

Al posicionar el sensor de manera perpendicular al sol y realizar la medición durante una hora punta, se obtuvo un valor de 1192 μA . Esto se debe probablemente a las condiciones muy favorables logradas en ese momento. Por lo tanto, en el mejor de los casos, se espera que este modelo genere alrededor de 1200 μA en esta maqueta.

5.2.3 Circuito

Primero se realizó un esquema meramente orientativo del circuito de amplificación con el programa “Multisim” (Fig. 28) donde se sustituyó el fotodiodo por un supuesto generador de corriente de 1000 μA como se pensaba que trabajaría.

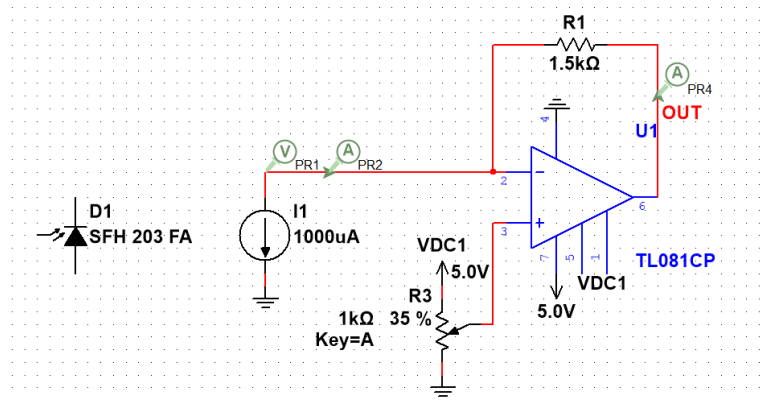


Figura 28: Simulación del funcionamiento del circuito de acondicionamiento.

A partir de ahí se calculó la resistencia R1 y R3 necesarias y se realizó un pequeño análisis inicial de su comportamiento a lo largo de la variación de corriente (Fig. 29):

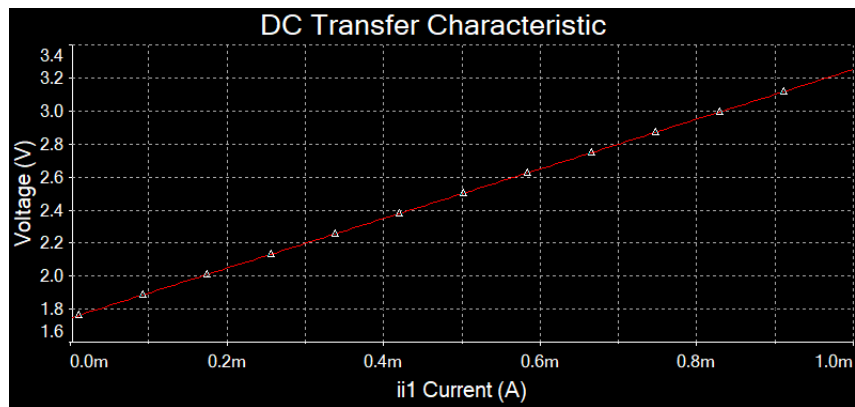


Figura 29: Análisis de la respuesta del sistema en función a la corriente de entrada.

Comprobando así que se tiene un valor mínimo y máximo de 1 a 3 V para evitar sus respectivas saturaciones, dejando aun así un rango bastante bueno de 2 V.

Teniendo esto en cuenta se llevó a cabo el circuito en una protoboard (Fig. 30), cambiando ligeramente y recalculando algunos valores.

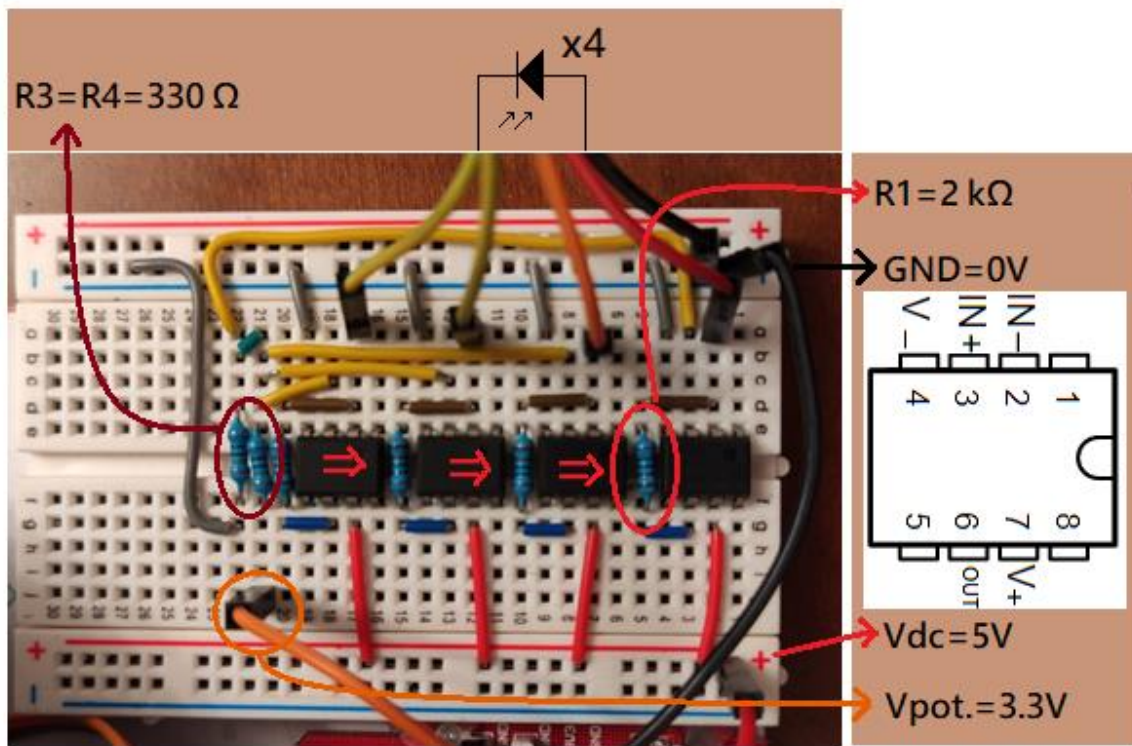


Figura 30: Montaje del circuito planteado.

Como se muestra en la figura se han realizado los siguientes cambios a la hora de llevar a la práctica y descubrir los valores reales con los que se trabajaría:

Primero, se cambió el potenciómetro. Ya que, a la hora de emplearlo físicamente, el error por tolerancia es mayor y más difícil de calcular, además de moverse con el más mínimo golpe o roce del entorno, bajando demasiado la precisión de los cálculos y suponer un problema al ponerlo en marcha.

La solución a esto fueron las 2 resistencias de 330Ω cada una, midiendo su valor real y recogiendo en una tabla. Sabiendo así la tolerancia, la cual no varía apenas a lo largo de su vida útil, obteniendo algo mucho más exacto.

Para poder tener una tensión mínima de en torno a 1 V , no se podía optar por alimentar con 5 V , así que se conectó a los 3.3 V que ofrece Arduino.

Con esto, a la entrada del terminal negativo del AO ($IN+$) se tienen:

$$IN_+ = 330 \cdot I = 330 \cdot \left(\frac{3.3}{660} \right) = 330 \cdot \frac{3.3}{2 \cdot 330} = \frac{3.3}{2} = 1.666 \text{ V} \quad (5)$$

El siguiente cambio fue el aumento de $R1$ a $2 \text{ k}\Omega$ para así poder buscar un poco más de rango si llegar a la saturación.

Por último, se soldaron los 4 ánodos a un mismo GND, quedando así el circuito (Fig. 31)

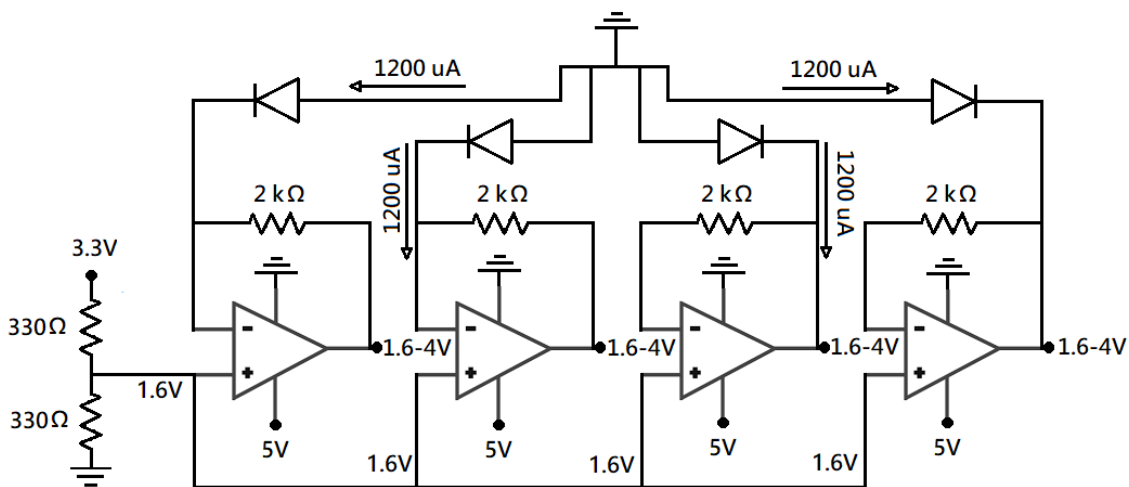



Figura 31: Diseño final del sistema de acondicionamiento.

Una vez realizado el circuito se tomaron las muestras para probar su funcionamiento. Primero se comprobaron los valores reales de todos los componentes y se realizó un cálculo teórico a partir de ellos (Fig. 32):

	Val. real:	Val. ideal.	
R1:	330,7	330	Ω
R2:	332,8	330	Ω
R3:	1993	2000	Ω
R4:	1992	2000	Ω
R5:	1999	2000	Ω
R6:	1993	2000	Ω
Vin:	4,894	5	V
Vin2:	3,316	3,3	V
V+:	1,661	1,65	V
V-:	1,552	1,65	V



Valores teóricos		
Luminosidad	I.fotodiod (uA)	Vout (V)
100%	1200	4,053
80%	960	3,573
60%	720	3,100
40%	480	2,618
20%	240	1,662
0%	0	1,661

V+ (V)	V- (V)
1,653	1,653

Figura 32: Medidas reales de los semiconductores y calculo previo de los valores de interés en base a ellos.

A partir del valor máximo ya experimentado de 1200 uA, se hizo una previsión de que ocurriría al darle un 80, 60, 40%... esto gracias a la idea de que tiene un comportamiento lineal como ya se ha visto en la hoja de datos.

Esto es algo que no se puede llegar a probar experimentalmente, pero se procuró buscar valores similares a la hora de desviar el fotodiodo para poder hacer una comparativa mucho más clara entre lo ideal y lo real, además de poder ver más fácilmente que todo estuviese funcionando correctamente.

Una vez hecha la previsión teórica de lo que ocurriría se tomaron las medidas reales. Para ello era necesario conseguir medir de forma simultánea tanto la tensión como la corriente, pero al carecer de un dispositivo más complejo capaz de poder hacerlo se optó por lo siguiente (Fig. 33):

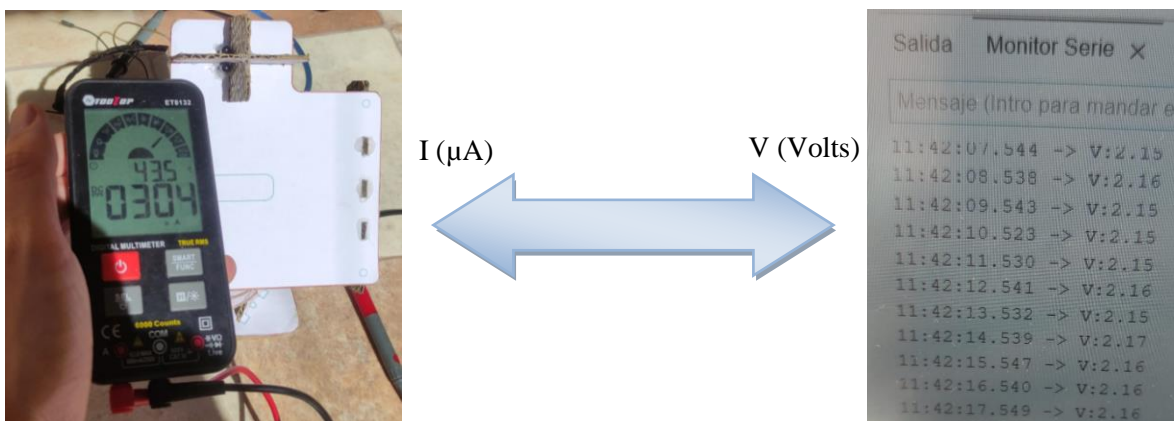


Figura 33: Representación gráfica de cómo han sido realizadas las tomas de datos de forma simultanea.

Con un multímetro digital se mide la corriente en ese instante a la vez que mediante un puerto analógico del microcontrolador y realizando una función en C (Fig. 34) que lea y guarde los valores, se toman los datos de tensión de salida y se imprimen en pantalla.

```

54 float LeerValorV(int pin, int x){
55
56     float L, V;
57
58     L = analogRead(pin);
59     V = L/1023*5.0;
60     Serial.print("v");
61     Serial.print(x);
62     Serial.print(": ");
63     Serial.println(V);
64
65     return (V);
66 }

```

Figura 34: Código para la lectura y conversión D/A del valor de tensión.

Quedando la siguiente tabla de valores (Fig. 35):

Valores experimentales										
Lumin.	I (uA)	Fdiodo 1	Fdiodo 2	Fdiodo 3	Fdiodo 4	Vout (V)	Fdiodo 1	Fdiodo 2	Fdiodo 3	Fdiodo 4
100%	1172	1180	1142	1147	1220	3,790	3,800	3,780	3,770	3,810
	945	944	991	969	875	3,423	3,590	3,400	3,480	3,220
	712	755	757	698	639	2,970	3,190	3,030	2,960	2,700
	445	394	469	494	423	2,440	2,490	2,480	2,560	2,230
	257	237	254	304	232	2,048	2,160	2,030	2,180	1,820
0%	35	27	33	36	45	1,625	1,720	1,600	1,670	1,510

Figura 35: Recopilación de los valores reales de corriente y tensión generados por el circuito.

Como se puede ver en la figura (Fig. 36) se recopiló un muestreo de los 4 fotodiodos en funcionamiento por separado, con sus respectivos valores de corriente y tensión, haciendo una media de las 4 muestras. Dando lugar a una estimación global de la relación corriente-tensión donde la pendiente de crecimiento en función de la corriente debería de ser la de la propia resistencia si todo funciona correctamente.

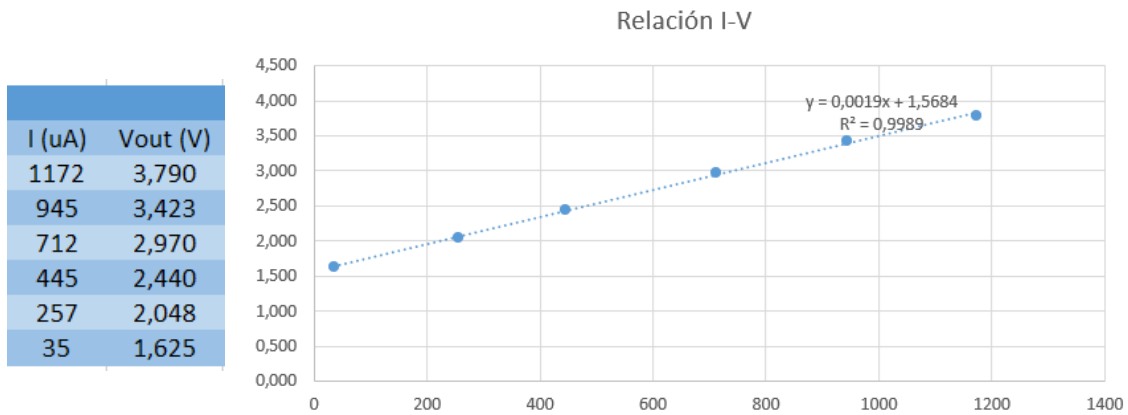


Figura 36: Representación gráfica de los valores y ecuación de respuesta con pendiente igual a R1.

La pendiente resulta de ser 1.9 kΩ debido a que la gráfica no entiende que los valores de corriente están en microamperios y redondea quedándose sin decimales a 1970 Ω teniendo bastante sentido el resultado y comprobando así que funciona correctamente.

También se realizaron graficas de cada uno de los fotodiodos por separado para entender mejor que pasa en cada uno (Fig. 37).

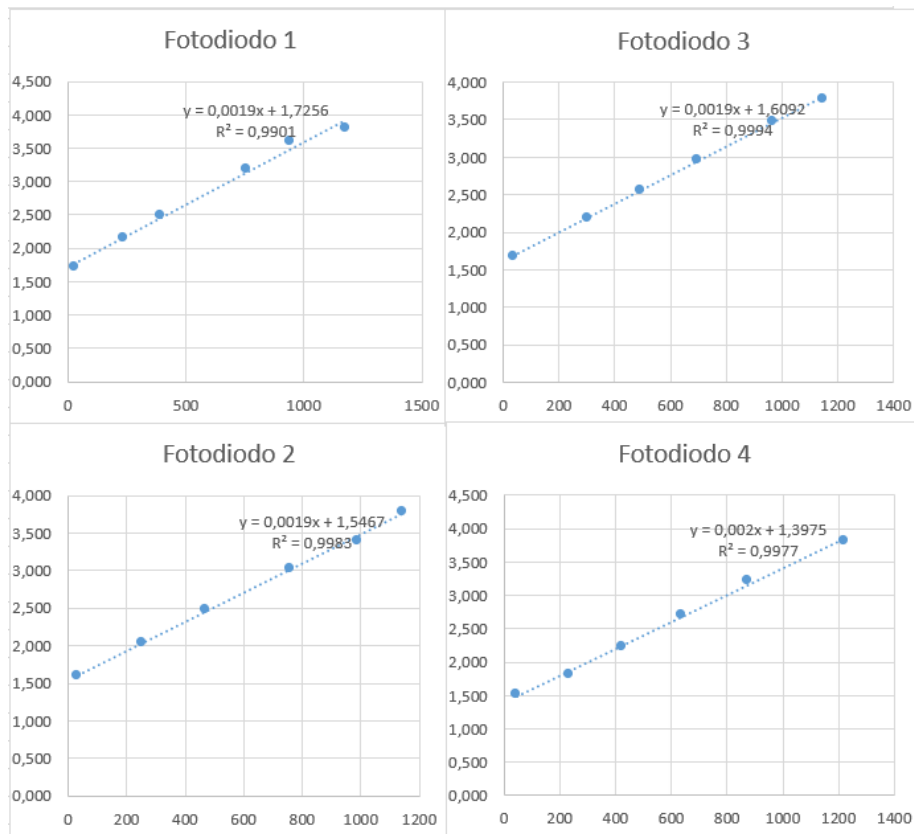


Figura 36: Representación gráfica de cada sensor por separado.

5.2.4. FILTRO:

Con el circuito de control realizado, se diseña el sistema encargado de suprimir el ruido. Este ruido puede originarse tanto por interferencias externas como por fallos en las conexiones internas. Para filtrarlo, es fundamental establecer una frecuencia de corte, es decir, elegir una velocidad máxima de oscilación a partir de la cual se considere que la variación de la señal de entrada ya no es normal.

Para obtener ese límite, primero se intuye la velocidad a la que variaría el valor de iluminación, esto es algo directamente proporcional a la velocidad del sol respecto a la superficie terrestre. Teniendo en cuenta que la velocidad angular de la rotación de la tierra es $\omega = 7.292 \cdot 10^{-5}$ rad/s, un observador que se encuentre sobre la superficie percibiría que el sol se “mueve” con dicha velocidad, por lo que el seguidor, tras colocarse correctamente, detectaría esta variación.

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = w = 4.165^{-3} \text{ grados/s} \quad (6)$$

A este dato se le conoce como Slew rate (SR) el cual sirve para calcular la frecuencia con la que varía una señal, traduciendo el movimiento a una onda.

$$f_{max-SR} = \frac{\frac{\Delta\theta}{\Delta t}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{A}{2}} = \frac{4.165^{-3}}{180\pi} = 7.365 \cdot 10^{-6} \text{ Hz} = f_c \quad (7)$$

- A = Amplitud Max (180 °).

Puesto que esta es la variación más grande que se puede llegar a producir en el sistema, se establecerá como frecuencia máxima los 7.365 μ Hz, cualquier valor por encima se verá descartado.

La frecuencia de corte, como se puede apreciar en la Figura 37, es la frecuencia en la cual se disminuye la ganancia un 30% o visto con una ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C} \quad (8)$$



Figura 37: Diagrama de Bode de un pseudointegrador. [13]

Esto lleva al diseño del filtro de paso bajo de la Figura 38, el cual se consigue de forma sencilla añadiendo un condensador en paralelo a la R1 vista en apartados anteriores, el valor del semiconductor depende de la frecuencia de corte ya calculada.

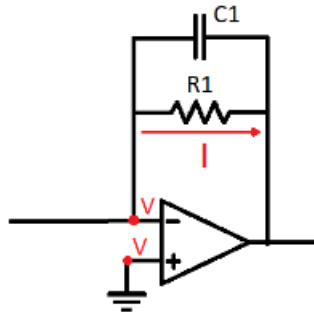


Figura 38: F.P.B. formado por 1 AO, 1 resistencia y 1 condensador.

La función de ganancia en base a la frecuencia:

$$G = I \cdot (R_1 // Z_c) \quad (9)$$

Donde:

$$R_1 // Z_c = \frac{R_1 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}}{R_1 + \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}} = \frac{R_1}{R_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C + 1} \quad (10)$$

$$G = I \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C + 1} \right) = \frac{I \cdot R_1}{R_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C + 1} \quad (11)$$

A frecuencias bajas, el condensador ofrecerá resistencia nula al paso:

$$C = 0 \text{ entonces } R_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C = 0 \quad (12)$$

Por tanto:

$$G = \frac{I \cdot R_1}{1} = I \cdot R_1 \quad (13)$$

Permitiendo el paso de corriente y amplificando, mientras que a frecuencias altas el condensador ofrece una resistencia al paso muy elevada:

$$C = \infty \text{ entonces } R_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C = \infty \quad (14)$$

Ocurriendo que:

$$G = \frac{I \cdot R_1}{\infty} = 0$$

Finalmente, con todo lo calculado anteriormente:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C} \implies 7.365 \cdot 10^{-6} = \frac{1}{2\pi \cdot 2000 \cdot C} \quad (15)$$

$$C = \frac{1}{7.365 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 2000} = 10.8 \text{ F}$$

Al ser un movimiento tan lento, se obtiene una frecuencia de oscilación tan baja que requiere de un condensador demasiado grande, por ello se tomó la decisión de permitir pasar frecuencias mas lentas que, aunque no sean las de interés no obstruyan la señal resultante, dejando un condensador así de unos 2.2 μF :

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 2000 \cdot 2.2 \cdot 10^{-6}} = 39.78 \text{ Hz}$$

Esta frecuencia de corte cumplirá correctamente con su función impidiendo los ruidos más lentos como las sombras de animales u objetos voladores y permitiendo el paso de la variación luminosa provocada por la trayectoria del sol.

Con el sistema de filtrado también calculado, se esquematizó en proteus el circuito final incluyendo todas las conexiones a los servomotores y demás, dando lugar al diseño final de la parte electrónica de la Figura 39.

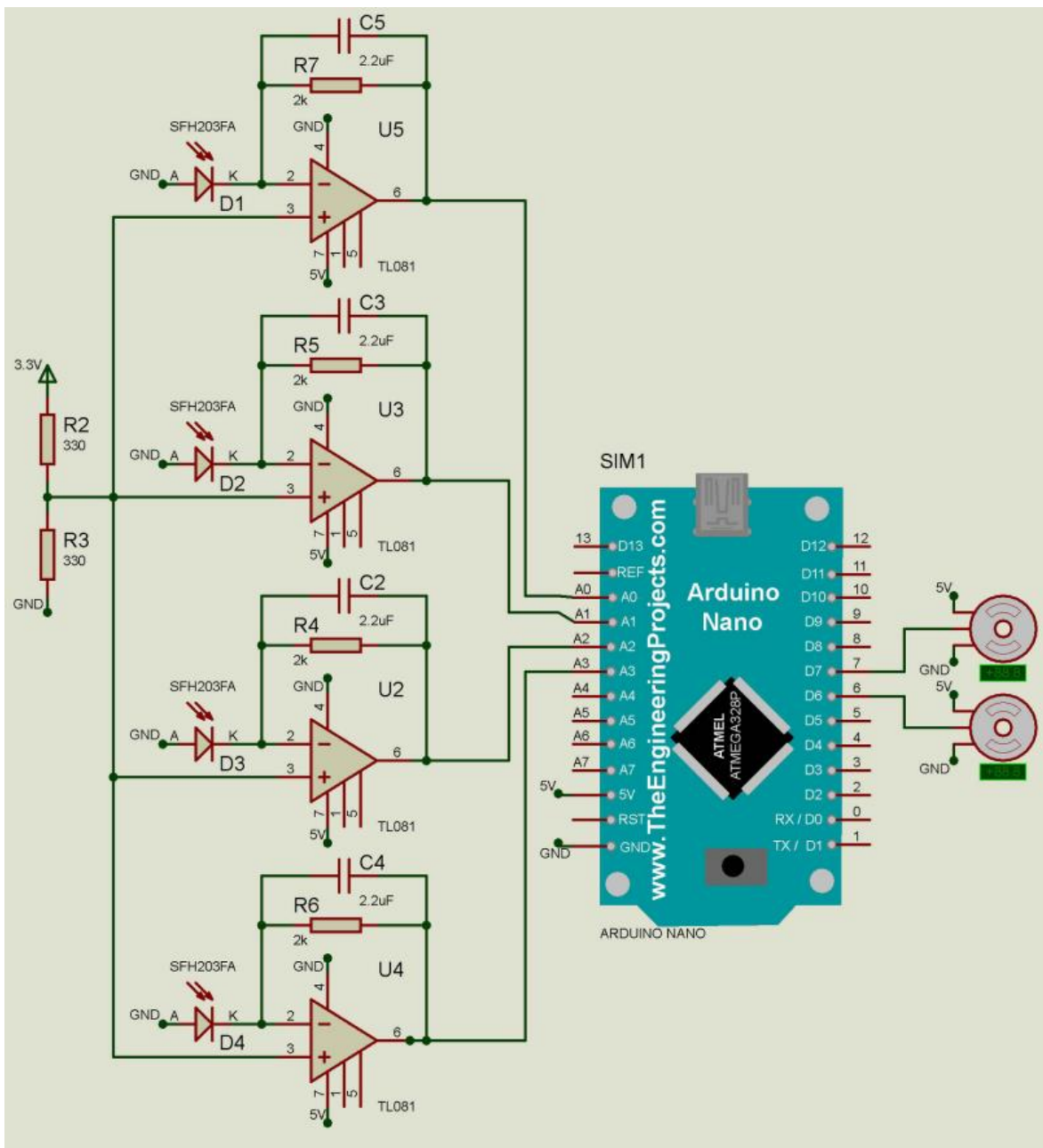


Figura 39: Esquema final del circuito.

La Figura 40 muestra el circuito montado, siendo comprobado mas adelante en el apartado de verificación una vez realizado el ultimo de los apartados, el software.

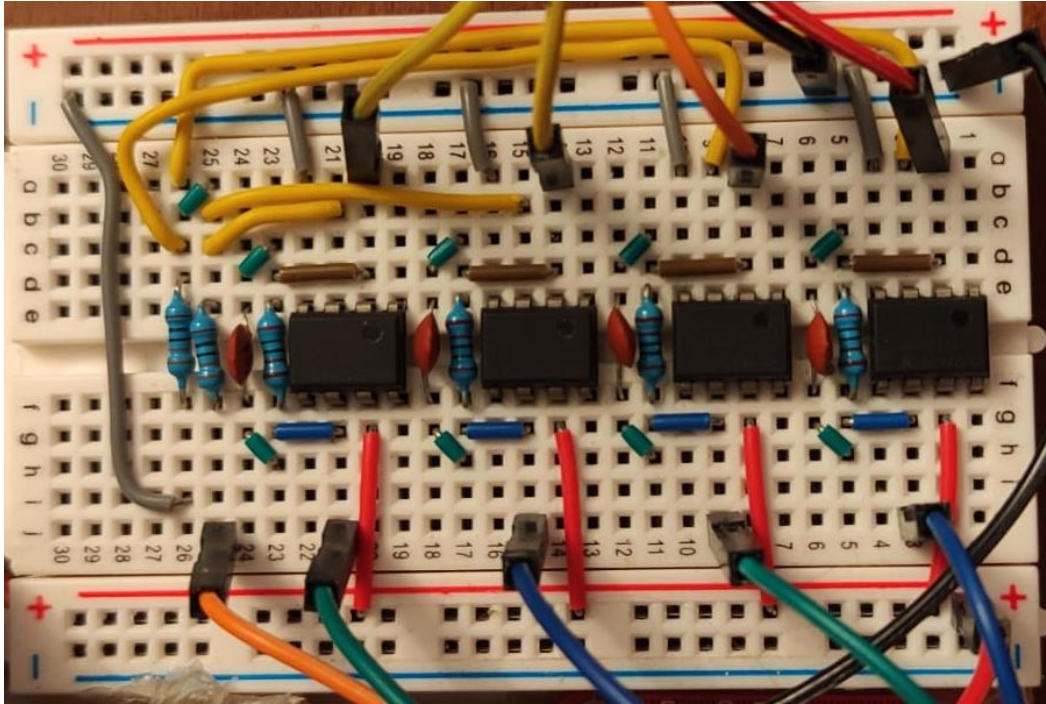


Figura 40: Montaje del circuito una vez terminado.

5.3 Software

Una vez logrado todo el montaje necesario ya solo falta la última parte, el software de control. Este se divide en 3 conjuntos a desarrollar, el flujograma, su traducción a código en C++ y, por último, el resultado final donde se optimiza el código y se comprueba su funcionamiento.

5.3.1 Flujograma y código

El flujograma es un diagrama esencial para cualquier código de programación, que busca proporcionar una visión esquemática del proceso de ejecución y toma de decisiones que seguirá un microcontrolador a lo largo del tiempo. Su objetivo principal es facilitar la comprensión del proceso tanto para el usuario como para el desarrollador.

Para este caso se ha desarrollado una arquitectura muy similar a la arquitectura típica de los microcontroladores C2000 de Texas instruments aprendida en el curso académico.

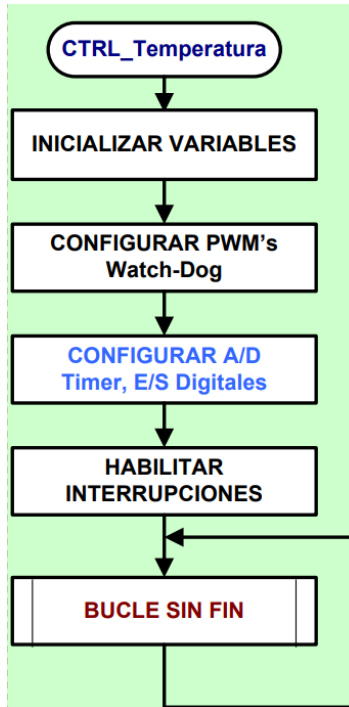


Figura 41: Ejemplo de la estructura de un flujograma para los μC C2000. [14]

La Figura 41 muestra un ejemplo de un flujograma. Este consiste en una primera parte realizada una sola vez donde el programa ejecuta todas las funciones de “set up” para preparar todos los componentes que vayan a ser requeridos a lo largo del bucle siguiente, (como declaración y configuración de variables, pines, timers, motores...) y una segunda parte donde el sistema entrará en un bucle sin fin que simplemente repetirá constantemente un proceso prediseñado y configurado para operar correctamente. Arduino funciona de una manera muy similar nombrándose cada sección como “Void setup” y “Void loop”.

5.3.1.1 Código Principal

En esta primera parte del código de la Figura 42, se tiene el flujograma general donde a grandes rasgos se añaden las variables globales, librerías, servos etc. y se declaran las funciones del programa, tras esto ya se empiezan a ejecutar y a llamar a cada una de las partes:

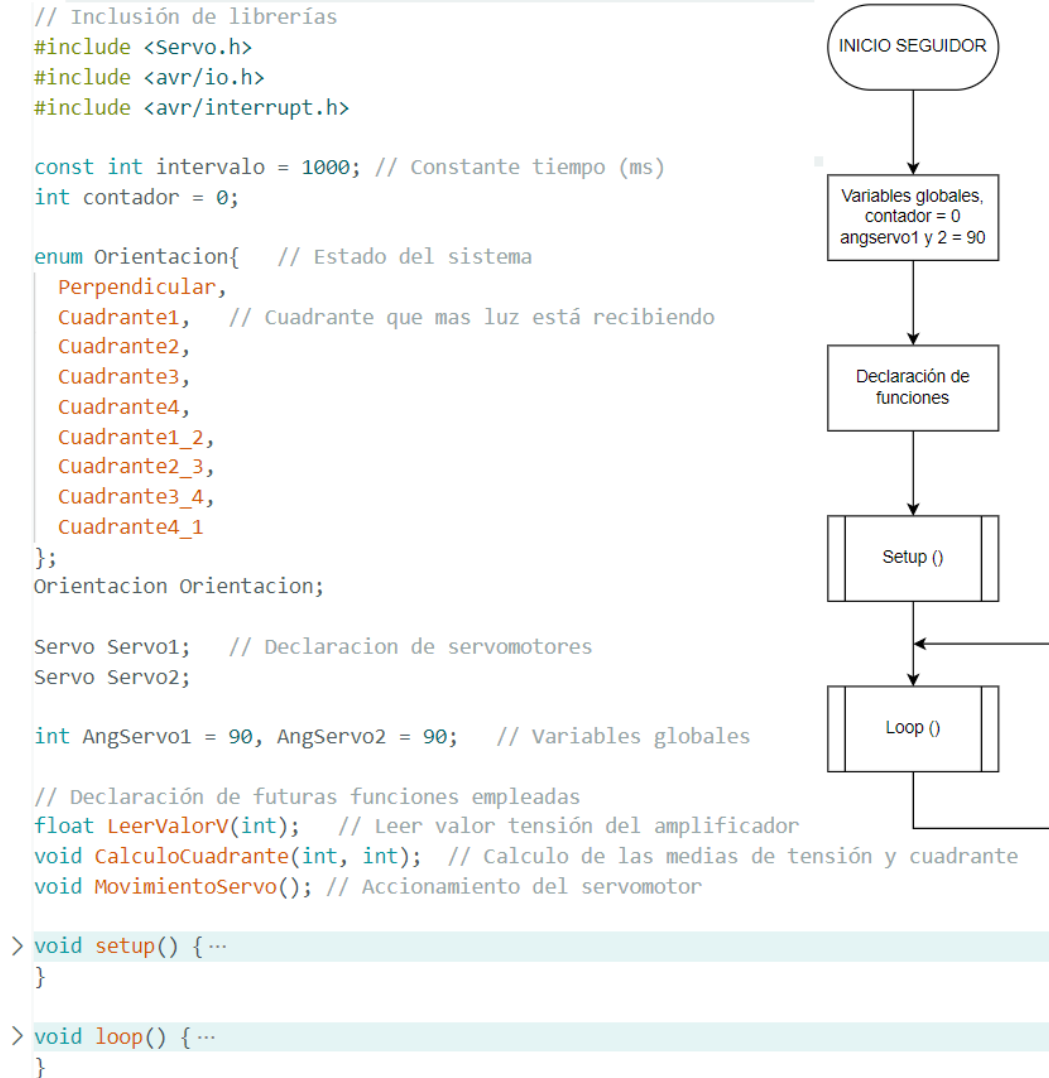


Figura 42: Código y flujograma del bucle principal.

5.3.1.2 Código “Set up”

Aquí el flujograma es lo suficientemente descriptivo y detallado, no es necesario añadir anotaciones adicionales, por lo que el código resultante se muestra en la Figura 43.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // Iniciar placa Arduino  
  
  // Configurar el temporizador para generar una interrupción cada cierto intervalo  
  cli(); // Deshabilitar interrupciones  
  TCCR1A = 0;  
  TCCR1B = (1 << WGM12);  
  TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS10); // Configuración de la frecuencia (16MHz/1024)  
  OCR1B = (16e6 / 1024) * (intervalo / 1000); // Comparación para generar la interrupción  
  TIMSK1 |= (1 << OCIE1B); // Habilitar la interrupción de comparación B  
  sei(); // Habilitar interrupciones  
  
  // Activación de los pines analógicos como entrada  
  pinMode(A0, INPUT);  
  pinMode(A1, INPUT);  
  pinMode(A2, INPUT);  
  pinMode(A3, INPUT);  
  
  // Activación los servos y configurmos el pin de control  
  Servo1.attach(6);  
  Servo2.attach(7);  
}
```

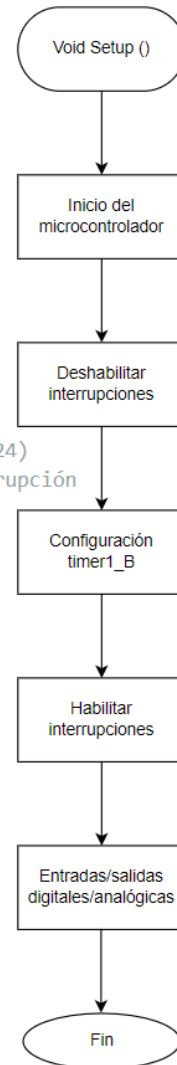


Figura 43: Código y flujograma del SET-UP.

5.3.1.3 Código “Loop”

Aunque el código en general se podría realizar entero en el propio void loop, por un tema más profesional y un código más claro a la hora de ser revisado, se ha optado por realizar todo con funciones y llamar a estas en el bucle principal (Fig. 44).

```
void loop() {  
    float v0, v1, v2, v3;  
  
    if(contador == 10){  
        v0 = LeerValorV(A0,1); // Leer y guardar el valor de tensión  
        v1 = LeerValorV(A1,2);  
        v2 = LeerValorV(A2,3);  
        v3 = LeerValorV(A3,4);  
        Serial.println("-----");  
  
        CalculoCuadrante(v0,v1,v2,v3); // Calculo del cuadrante en el que se encuentra  
        MovimientoServo(); // Llamada a la función encargada de mover los servomotores  
  
        contador=0; // Resetear cuenta del timer  
    }  
    //delay(30000); // En caso de no emplear timer, requiere de delay.  
}
```

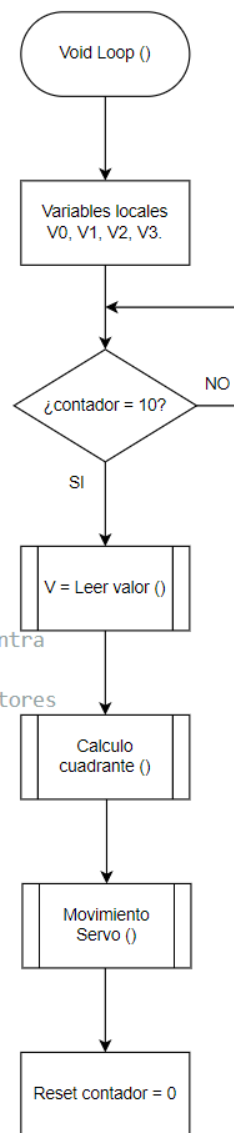


Figura 44: Código y flujograma del VOID-LOOP.

5.3.1.2 Código de las funciones e interrupción

En la función de la Figura 45, de forma adicional, para poder comprobar el correcto funcionamiento del programa por parte del usuario / cliente, se añaden a lo largo del código algunas impresiones en el monitor serie. Una vez comprobado el correcto funcionamiento y si el usuario final no lo requiere se omitirá por optimización de código.

```
// Función de lectura e impresión del valor de tensión convertido a decimal
float LeerValorV(int pin, int x){

    float L, V;

    L = analogRead(pin); // Lee los valres digitales por la entrada del pin
    V = L/1023*5.0;      // Convierte el valor digital en valor analogico
    Serial.print("V"); // Imprimir las lecturas obtenidas
    Serial.print(x);
    Serial.print(": ");
    Serial.println(V);

    return (V); // Devuelve valor a guardar
}
```

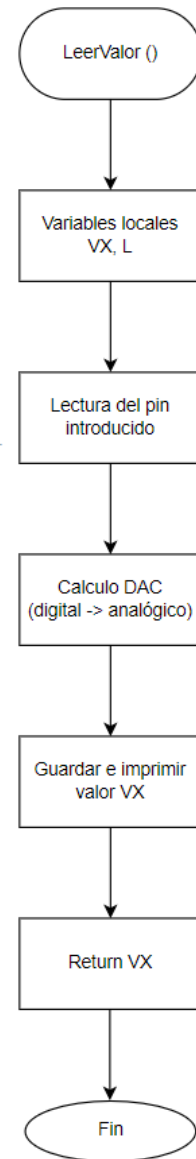
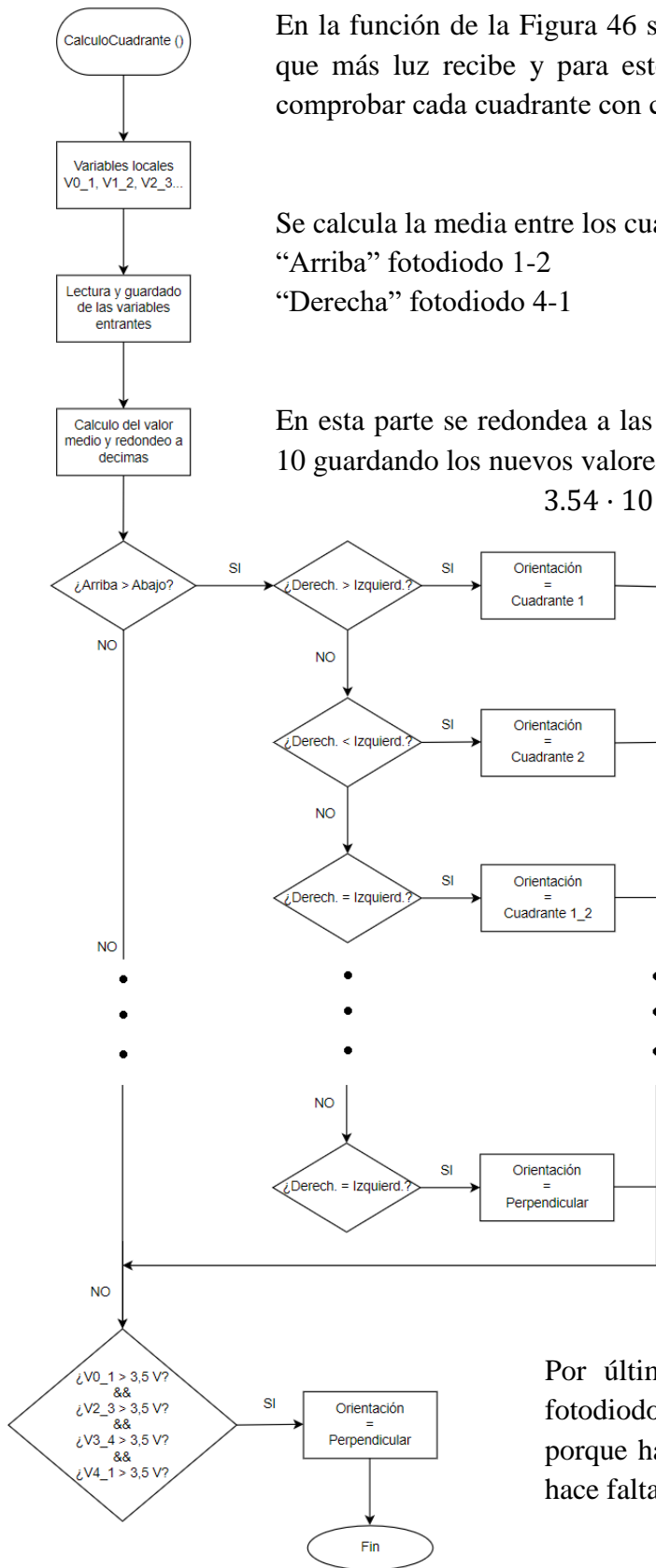


Figura 45: Código y flujograma de la función Leer Valor.



En la función de la Figura 46 se tiene que comprobar el cuadrante/s que más luz recibe y para esto, la única forma de conseguirlo es comprobar cada cuadrante con condiciones tipo “if”.

Se calcula la media entre los cuadrantes teniendo 4 valores:
 “Arriba” fotodiodo 1-2 “Abajo” fotodiodo 3-4
 “Derecha” fotodiodo 4-1 “Izquierda” fotodiodo 3-2

En esta parte se redondea a las decimas multiplicando la lectura por 10 guardando los nuevos valores en int. EJ:

$$3.54 \cdot 10 = 35.4 \approx 35V$$

Por último, se presupone que si todos los fotodiodos alcanzan un valor máximo es porque han logrado la perpendicularidad y no hace falta que se muevan los servomotores.

Figura 46: Flujograma de la función del cálculo del cuadrante.

La Figura 47 muestra el código resultante:

```
// Función de calculo del cuadrante mas iluminado
void CalculoCuadrante(float V0, float V1, float V2, float V3){

    int V0_1, V1_2, V2_3, V3_0;

    // Calculo de la media, *10 para generar histeresis y redondeo guardandolos como int
    V0_1 = (V0+V1)*10/2; // Arriba
    V1_2 = (V1+V2)*10/2; // Izquierda
    V2_3 = (V2+V3)*10/2; // Abajo
    V3_0 = (V3+V0)*10/2; // Derecha

    Serial.println(V0_1); // Imprimir valores para el control del programador/usuario
    Serial.println(V1_2);
    Serial.println(V2_3);
    Serial.println(V3_0);

    if(V0_1 > V2_3){ // Si arriba mayor que abajo
        if(V3_0 > V1_2) Orientacion = Cuadrante1; // y derecha mayor que izquierda
        if(V3_0 < V1_2) Orientacion = Cuadrante2; // y izquierda mayor que derecha
        if(V3_0 == V1_2) Orientacion = Cuadrante1_2; // y son iguales
    }
    else{
        if(V0_1 < V2_3){ // Si abajo mayor que arriba
            if(V3_0 < V1_2) Orientacion = Cuadrante3; // y izquierda mayor que derecha
            if(V3_0 > V1_2) Orientacion = Cuadrante4; // y derecha mayor que izquierda
            if(V3_0 == V1_2) Orientacion = Cuadrante3_4; // y son iguales
        }
        else{
            if(V0_1 == V2_3){ // Por ultimo si arriba y abajo son iguales
                if(V3_0 < V1_2) Orientacion = Cuadrante2_3; // entonces o cuadrante23 o 41
                if(V3_0 > V1_2) Orientacion = Cuadrante4_1;
                if(V3_0 == V1_2) Orientacion = Perpendicular; // y son iguales
            }
        }
    }
    // Si todos exceden 3.5V se interpretará que está colocado correctamente
    if(V0_1>35 && V2_3>35 && V3_0>35 && V1_2>35){
        Orientacion = Perpendicular;
    }
}
```

Figura 47: Código de la función del cálculo del cuadrante.

La Figura 48 muestra la función del movimiento del servomotor:

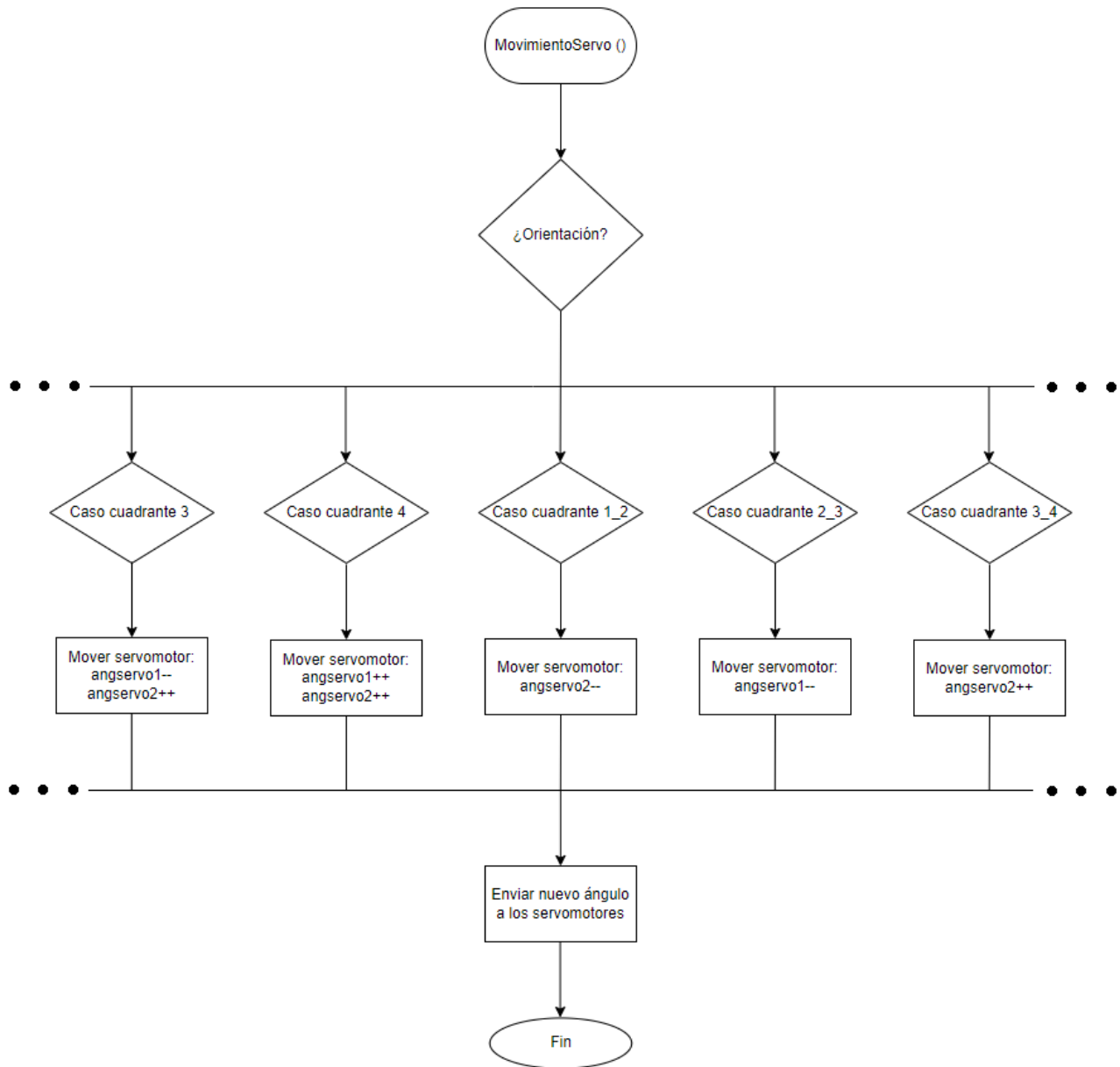


Figura 48: Flujograma de la función del movimiento de los servomotores.

Traduciéndose en lenguaje C (Fig. 49):

```
// Funcion que, dependiendo del cuadrante, girará los motores en una direccion u otra
void MovimientoServo(){
    switch(Orientacion){

        case Cuadrante1:
            AngServo1++;
            AngServo2--;
            Serial.println("C1"); // Impresión del valor para el control del funcionamiento
            break;

        case Cuadrante2:
            AngServo1--;
            AngServo2--;
            Serial.println("C2");
            break;

        case Cuadrante3:
            AngServo1--;
            AngServo2++;
            Serial.println("C3");
            break;

        case Cuadrante4:
            AngServo1++;
            AngServo2++;
            Serial.println("C4");
            break;

        case Cuadrante1_2:
            AngServo2--;
            Serial.println("C1_2");
            break;

        case Cuadrante2_3:
            AngServo1--;
            Serial.println("C2_3");
            break;

        case Cuadrante3_4:
            AngServo2++;
            Serial.println("C3_4");
            break;

        case Cuadrante4_1:
            AngServo1++;
            Serial.println("C4_1");
            break;

        default:
            Serial.println("Perpendicular");
            break;
    }
    Servo1.write(AngServo1); // Acciona el angulo guardado.
    Servo2.write(AngServo2);
}
```

Figura 49: Código de la función del movimiento de los servomotores.

Por último, la interrupción en la Figura 50:

```
// Función de interrupción para el temporizador
ISR(TIMER1_COMPB_vect) {
  contador++;    // Aumenta la cuenta hasta llegar a 10
}
```

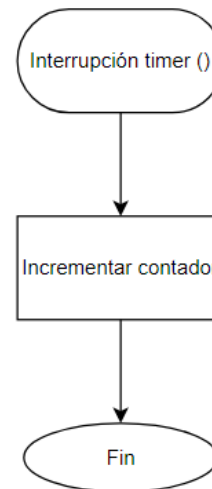


Figura 50: Código y flujograma de la interrupción Timer0.

5.3.2 Optimización y resultado final

Para llevar a la industria el siguiente producto, debe ser optimizado lo máximo posible para reducir el tamaño de memoria necesario e incrementar la velocidad de procesamiento. Esto se logra siguiendo una serie de pautas que, aunque hagan el código más complejo y difícil de comprender, ya ha sido explicado anteriormente.

Tras los cambios, el código ha resultado como se muestra en las Figuras 51 y 52.

```
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo servo1;
4  Servo servo2;
5
6  float leerValorV(int);
7
8  int angS1 = 90, angS2 = 90;
9
10 void setup() {
11     servo1.attach(6);
12     servo2.attach(7);
13 }
14
15 void loop() {
16     int v0, v1, v2, v3;
17     int ori = 0;
18
19     v0 = leerValorV(A0) * 10;
20     v1 = leerValorV(A1) * 10;
21     v2 = leerValorV(A2) * 10;
22     v3 = leerValorV(A3) * 10;
23
24     if ((v0 + v1) > (v2 + v3)) {
25         if ((v3 + v0) > (v1 + v2)) {
26             ori = 1;
27         } else if ((v3 + v0) < (v1 + v2)) {
28             ori = 2;
29         } else {
30             ori = 3;
31         }
32     } else {
33         if ((v0 + v1) < (v2 + v3)) {
34             if ((v3 + v0) < (v1 + v2)) {
35                 ori = 4;
36             } else if ((v3 + v0) > (v1 + v2)) {
```

Se han omitido las funciones prescindibles, ya que al ser solo llamadas una vez en el código se escriben directamente en el loop.

Además de no emplear una enumeración para los estados

Se han sustituido las interrupciones por un delay y se ha prescindido del monitor serie.

Se ha multiplicado y guardado desde un principio el valor en int.

No se han calculado las medias, solo se ha comprobado que valor de fotodiodo es mayor.

En vez del enum se ha guardado el estado de la orientación en un int del 1-9

Figura 51: Código resultante de la optimización Parte 1/2.

```

37 |     | ori = 5;
38 |     | } else {
39 |     |     | ori = 6;
40 |     |     | }
41 |     | } else {
42 |     |     | if ((v0 + v1) == (v2 + v3)) {
43 |     |     |     | if ((v3 + v0) < (v1 + v2)) {
44 |     |     |     |     | ori = 7;
45 |     |     |     |     | } else if ((v3 + v0) > (v1 + v2)) {
46 |     |     |     |     |     | ori = 8;
47 |     |     |     |     |     | }
48 |     |     |     |     |     | }
49 |     |     |     |     |     | }
50 |     |     |     |     |     | }
51 |     |     |     |     |     | }
52 |     | if ((v0 + v1) > 70 && (v2 + v3) > 70 && (v3 + v0) > 70 && (v1 + v2) > 70) {
53 |     |     | ori = 0;
54 |     |     | }
55 |
56 |     | switch (ori) {
57 |     |     | case 1:
58 |     |     |     | angS1++;
59 |     |     |     | angS2--;
60 |     |     |     | break;
61 |     |     | case 2:
62 |     |     |     | angS1--;
63 |     |     |     | angS2--;
64 |     |     |     | break;
65 |     |     | case 3:
66 |     |     |     | angS1--;
67 |     |     |     | angS2++;
68 |     |     |     | break;
69 |     |     | case 4:
70 |     |     |     | angS1++;
71 |     |     |     | angS2++;
72 |     |     |     | break;
73 |     |     | case 5:
74 |     |     |     | angS2--;
75 |     |     |     | break;
76 |     |     | case 6:
77 |     |     |     | angS1--;
78 |     |     |     | break;
79 |     |     | case 7:
80 |     |     |     | angS2++;
81 |     |     |     | break;
82 |     |     | case 8:
83 |     |     |     | angS1++;
84 |     |     |     | break;
85 |     |     | default:
86 |     |     |     | break;
87 |     |     |     | }
88 |     |     |     | servo1.write(angS1);
89 |     |     |     | servo2.write(angS2);
90 |     |     |     | delay(100);
91 |     |     |     | }
92 |     |     |     | }
93 |     |     |     | }
94 |     |     |     | }
95 |     |     |     | float leerValorV(int pin) {
96 |     |     |     |     | float l = analogRead(pin);
97 |     |     |     |     | float v = l / 1023.0 * 5.0;
98 |     |     |     |     | return v;
99 |     |     |     |     | }

```

Figura 52: Código resultante de la optimización Parte 2/2.

5.4 Control de funcionamiento

Con la maqueta terminada y los cálculos realizados, es el momento de poner a prueba el sistema y comprobarlo.

Primero se realizará una prueba básica de funcionamiento donde simplemente se pondrá el seguidor solar en una posición aleatoria y se comprobará si ciertamente este se recoloca buscando el punto de máxima incidencia.

Este ejemplo muestra que el programa se ejecuta sin problemas y cumple su función. Como se puede ver en la Figura 53, el sistema comienza desde una posición en la que el tercer cuadrante está más iluminado. En ese momento, se envía una señal que contiene los 4 valores captados por los sensores. Luego se realizan todos los cálculos previamente mencionados y se determina el cuadrante con mayor iluminación. Todas las lecturas realizadas por el programa quedan registradas en el monitor serie de Arduino.

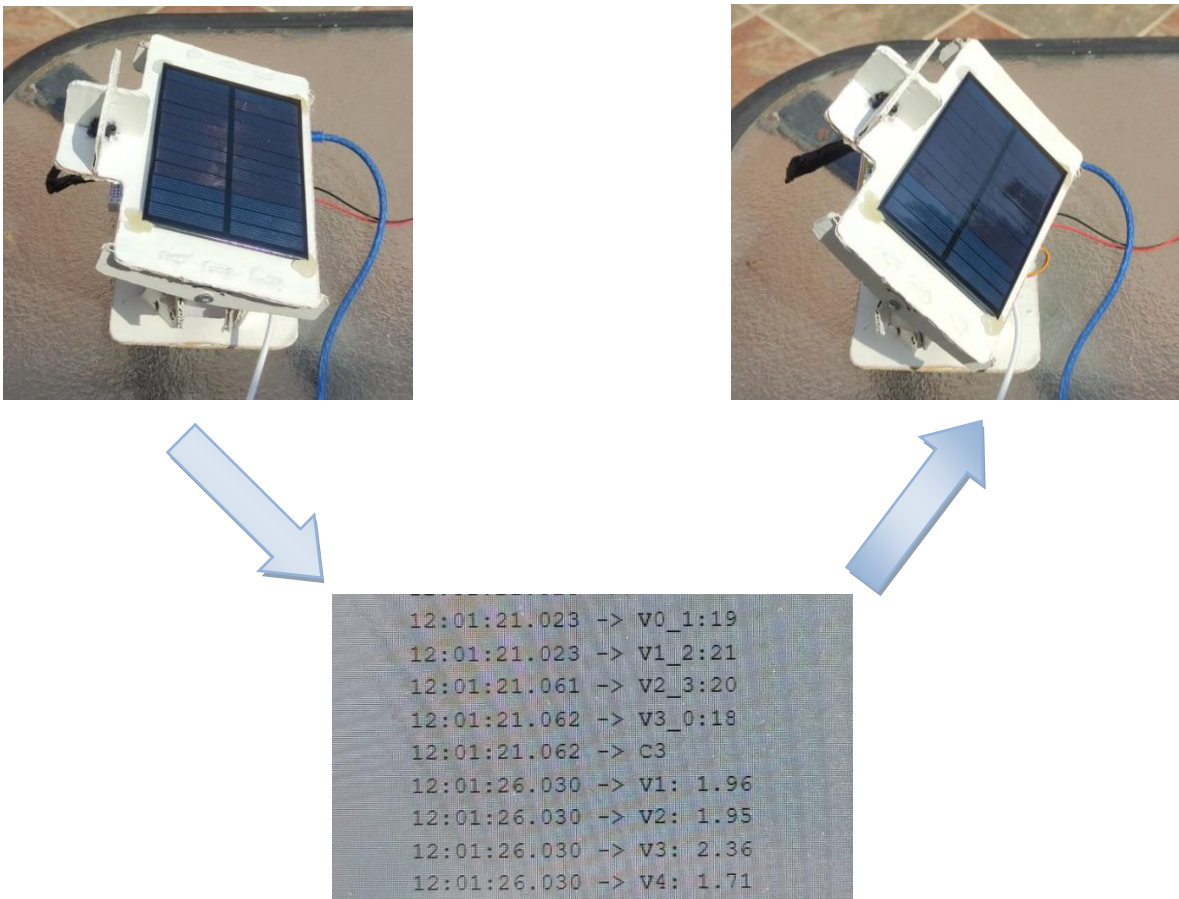


Figura 53: Ejemplo visual del funcionamiento del seguidor solar.

Tras hacer varias pruebas se han detectado las siguientes limitaciones:

5.4.1 Área de trabajo:

El área de trabajo en un sistema articulado se define como el espacio en el cual el sistema puede operar y realizar sus funciones de manera eficiente y segura, teniendo en cuenta los límites físicos y las restricciones del entorno.

Los límites de este sistema han sido también un factor influyente al no ser algo pulido y presentar algunas fallas de diseño, pero han de ser remarcados para tenerse en cuenta en un producto final profesional.

El cableado mostrado en la Figura 54 que lleva la señal de corriente de los fotodiodos es bastante corto y rígido, produciendo que al alejarse demasiado el sensor de la protoboard se alcance uno de los límites del área de trabajo. Costando más la rotación de los servomotores. Convendría arreglarse eligiendo un cable más extenso y holgado para aumentar el límite y no oponerse tanto al movimiento.

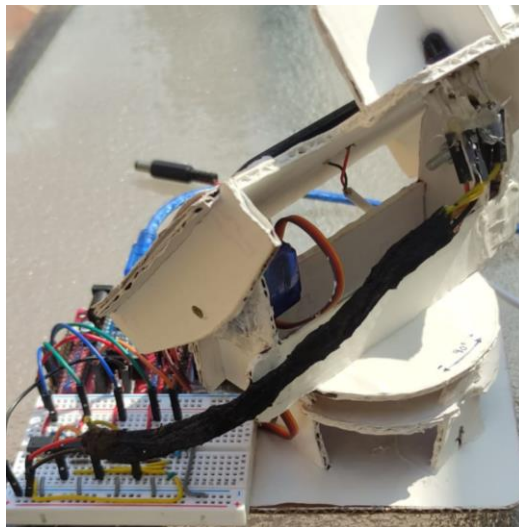


Figura 54: Figura del cable que conecta fotodiodos con la protoboard.

Por otro lado, los siguientes límites son las colisiones entre las estructuras (Fig. 55), esto es algo que se produce por realizar una maqueta demasiado robusta pudiéndose cambiar algunas partes como el eje por una estructura más fina, sin perder resistencia.



Figura 55: Colisiones del eje 2 con el resto de la estructura.

5.4.2 Imprecisión y errores de medida:

Debido a que es una maqueta de materiales bastantes rudimentarios y realizada de forma manual, surgen algunos errores como la colocación imperfecta de los fotodiodos o las curvaturas de los muros que producen un error a considerar. De nuevo, como ya se ha mencionado es un error bastante asumible pero que igualmente cabe destacar para mejorar.

Tras colocar todos los sensores en su posición se puede apreciar en la Figura 56 como debido a que no están pegados a las paredes completamente, se producen puntos muy próximos a la dirección correcta donde, no está del todo bien orientado, pero aun así ya no se ven tapados los fotodiodos que estén ligeramente mal colocados, esto hace que nunca vaya a colocarse a la perfección.



Figura 56: Imagen de uno de los fotodiodos colocado ligeramente separado del muro.

Otro error que produce cierto fallo asumible es la “tolerancia” de los fotodiodos, ese pequeño rango en el que 2 fotodiodos iguales bajo exactamente las mismas condiciones ofrecen valores ligeramente distintos, esto provoca que, en la realización de código, aun redondeando a las décimas, muchas veces no se pueda considerar que está correctamente orientado con simplemente añadir un “if” donde se compruebe si en los 4 fotodiodos se produce el mismo valor (Fig. 57).

Lumin.	Vout (V)	Fdiodo 1	Fdiodo 2	Fdiodo 3	Fdiodo 4
100%	3,790	3,800	3,780	3,770	3,810
0%	1,625	1,720	1,600	1,670	1,510

Figura 57: Los 4 fotodiodos ante la situación de oscuridad ofrecen una V distinta haciendo que no se pueda considerar perpendicular al tener todo el mismo valor.

Debido a esto mencionado surge el último de los errores. Para poder comprobar si el sistema se encuentra correctamente colocado, al no poder decir que se dará cuando todos los sensores tengan la misma corriente, se debe suponer un caso en el que los 4 fotodiodos den un mínimo a partir del cual considerar que si sobrepasan ese valor es porque ya les está dando “completamente” la luz (Fig. 58)

```
// Si todos exceden 3.5V se interpretará que está colocado correctamente
if(V0_1>35 && V2_3>35 && V3_0>35 && V1_2>35){
| Orientacion = Perpendicular;
}
```

Figura 58: Parte del código donde se considera el sistema en la posición correcta.

5.4.3 Singularidades no deseadas:

En robótica, una singularidad es un punto del espacio el cual puede ser alcanzados con diversas configuraciones, esto produce una redundancia de soluciones posibles pudiendo el sistema sufrir complicaciones a la hora de buscar la configuración correcta.

En este caso hay posiciones del sol que pueden ser alcanzadas de 2 formas mostradas en la Figura 59.

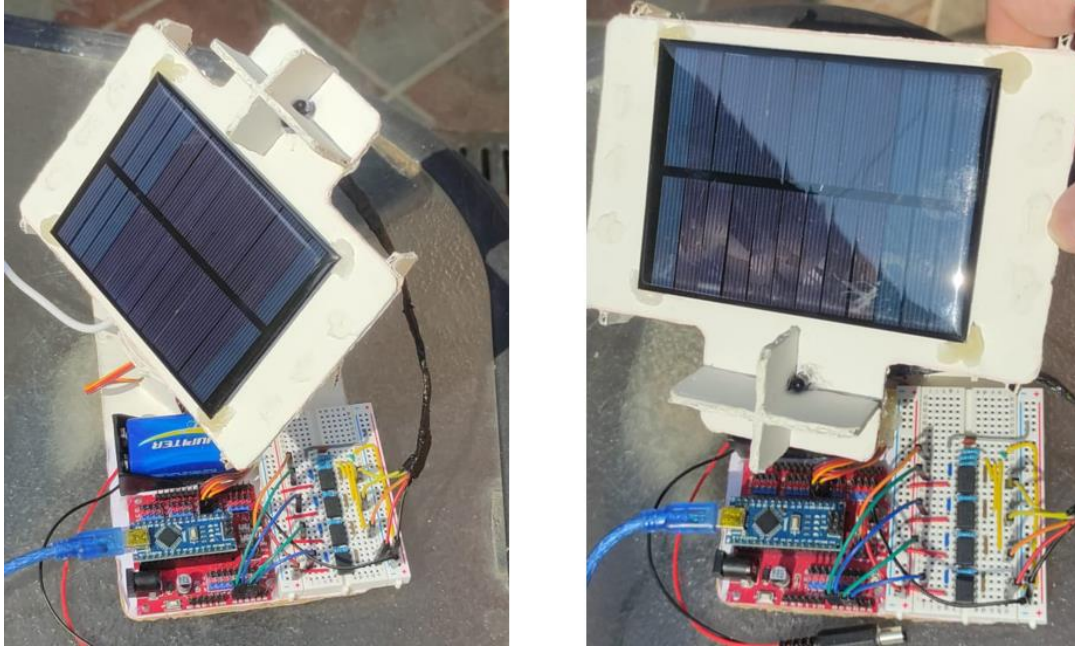


Figura 59: Imagen de las ambas formas que se tienen para alcanzar un mismo punto.

Como se puede apreciar en la imagen, de ambas formas se logra que el sistema este perpendicular y aunque ambas son perfectamente validas, siempre hay una que interesa más, en este caso la que se encuentre dentro del área de trabajo. La solución a esto sería implementar en el código algún comando de condición “if” que comprobase que se encuentra dentro de unos límites preestablecidos.

Aun con los problemas ya mencionados el sistema ofrece unos resultados más que aceptables. Teniendo un error lo suficientemente pequeño como para que el panel solar instalado ofrezca valores muy positivos. Se ha buscado el siguiente estudio de la Figura 60 de la eficiencia energética, donde se miden los valores que ofrece la placa a distintas horas del día viendo como gracias al seguidor, la gran mayoría de horas se encuentra a un rendimiento máximo.

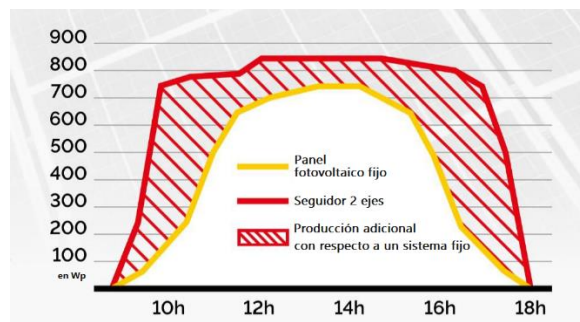


Figura 60: Curva de producción de un panel con seguidor solar frente a uno estático. [15]

Comparando estos valores con la curva de funcionamiento de un panel inmóvil inclinado 30 grados (como es el más común actualmente) se ve como hay una notable mejora del rendimiento, dando lugar a un sistema que mejora con creces y costea de forma sobresaliente, subsanando las pérdidas iniciales que pueda suponer una instalación de este estilo.

6. Eje prismático

En base a la experiencia del proyecto realizado y los conocimientos adquiridos en electrónica y automática, se baraja la posibilidad de la realización de un 3 eje ya explicado anteriormente.

Como recordatorio de lo mencionado en las especificaciones, se plantea un sistema que eleve los paneles a distintas alturas, para así evitar que se generen sombras unas a otras. Dicho sistema estará conformado por:

Un sensor de distancia: en el mercado existe un producto muy útil para este caso al tener compatibilidad directa con Arduino nano mostrado en la Figura 61.



Figura 61: Módulo HC-SR04 Sensor de Ultrasonidos Medidor Distancia. [16]

El sensor ultrasónico HCSR04 de ELECFREAKS es capaz de medir la distancia mediante ocho pulsos de ultrasonido para detectar si hay retorno. En caso de haberlo, el medidor calcula la distancia en base al tiempo transcurrido entre la emisión y recepción. Estos tienen un coste bastante económico y una buena implementación.

La señal enviada la recibirá el mismo Arduino empleado para el resto de las funciones ya diseñadas, (Arduino nano, aunque lo ideal sería pcb) leyendo y procesándola para tomar una decisión y calcular cuánto se debe elevar el siguiente panel en caso de hacerlo. Esto es algo que se calculará para cada caso en particular dependiendo de la distancia entre paneles como en la Figura 58.

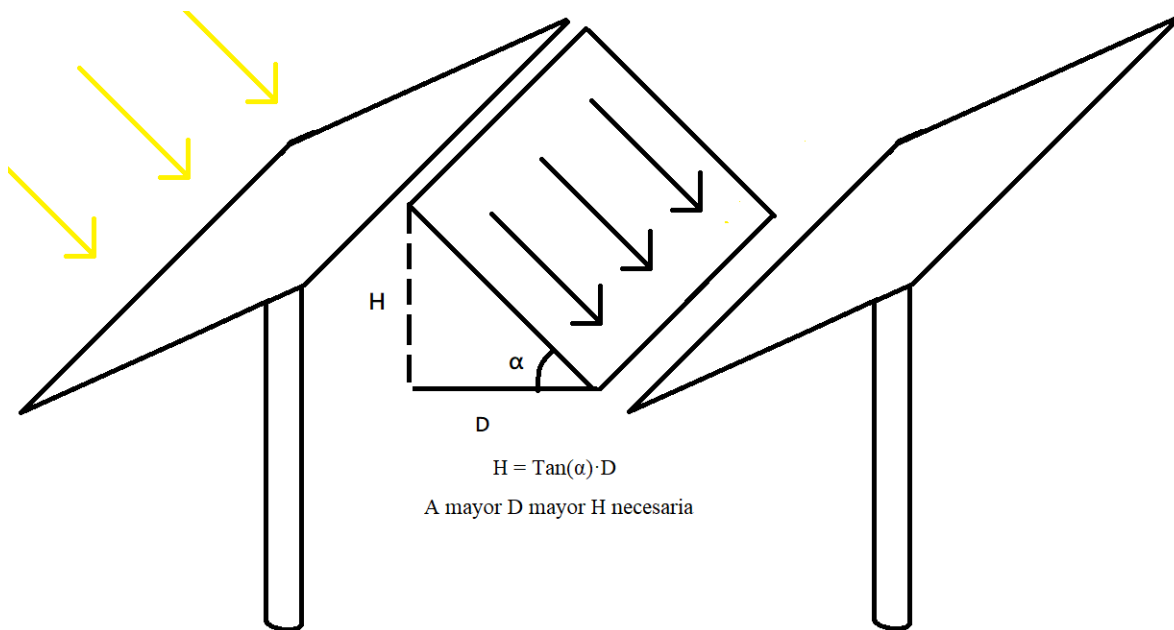


Figura 62: Calculo de la altura necesaria para que a la placa continua no sea tapada.

Por último, es necesario un servomotor que, tras recibir la orden en forma digital, transmita el movimiento deseado en la dirección buscada. Para esto se emplearía el mismo modelo ya empleado, como es el micro servomotor SG90.

Este sistema no sería muy complejo de diseñar, al no necesitar de sistemas de acondicionamiento ni grandes líneas de código, lo cual aparentemente lo hace muy viable. Pero el problema aparece al hablar de la estructura.

El principal problema de esta idea es la altura en sí y las fuerzas que se generan debido a los agentes externos. Primero, para poner en contexto se debe entender que es el momento de inercia. La inercia es la resistencia que ofrece un objeto al cambio en su estado de movimiento o reposo, el momento de inercia es igual pero la resistencia es a su rotación.

Como se aprecia en la Figura 62, la resistencia que tiene un cuerpo sólido y rígido sostenido por un extremo depende de la masa y sobre todo de la longitud al cuadrado.

	Por un extremo	$\frac{ML^2}{3}$
--	----------------	------------------

Figura 63: Calculo del momento de inercia para cuerpos cilíndricos. [17]

Por tanto, cuando un panel solar se encuentra sostenido por una columna cilíndrica cuanto mayor es la altura del panel mayor es la fuerza que se requiere para sostener el sistema. Concepto muy similar al torque o momento de fuerza, al ser la fuerza necesaria para conseguir iniciar la rotación del extremo de un cuerpo cilíndrico como puede ser una herramienta (Fig. 63).

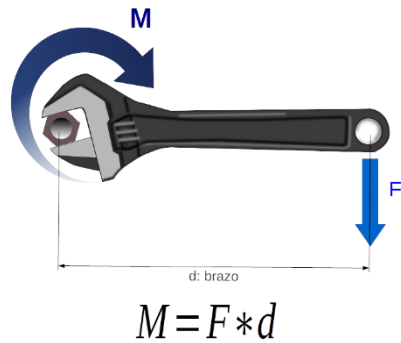


Figura 64: Calculo de la fuerza necesaria aplicada en un extremo de un cuerpo para provocar el movimiento del otro punto. [18]

En conclusión, en la fuerza que recibe un extremo está muy involucrada la distancia.

Ahora bien, observando la Figura 65 y analizando la idea propuesta, al tener un sistema de placas contiguas que se van alzando para no verse opacadas por las otras, la altura del panel numero 3 es igual a la altura del panel numero 1 más el 2 más la que necesita adicionalmente para poder funcionar correctamente y así sucesivamente con las demás, acumulando así una distancia demasiado elevada al producir que el torque sea mucho mayor al recibir fuerzas externas como puede ser el viento, suponiendo un peligro para la sujeción.

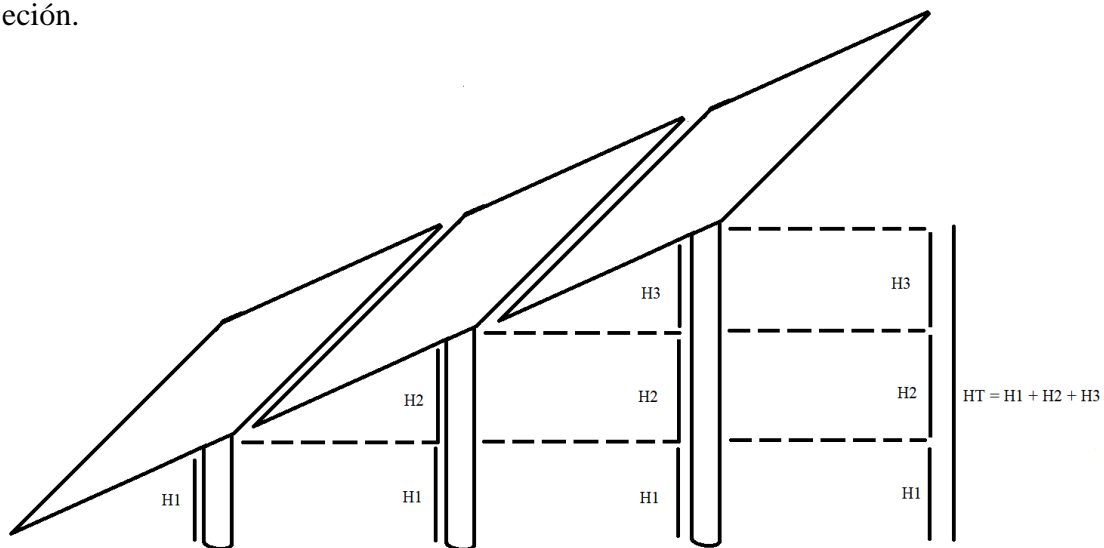


Figura 65: Conjunto de 3 paneles continuos alzados para no opacarse.

La solución a esto ya depende mucho de casa diseño en particular dependiendo de factores como, el espacio útil del que se dispone, los materiales empleados, afrontar errores con los que trabajar etc.

Si el terreno es amplio y se puede permitir separar ligeramente los paneles, se puede conseguir un punto medio en el que no haya que alejarlos tanto y a su vez poder elevar los paneles una altura aceptable y segura como se ha prediseñado en la siguiente figura 66.

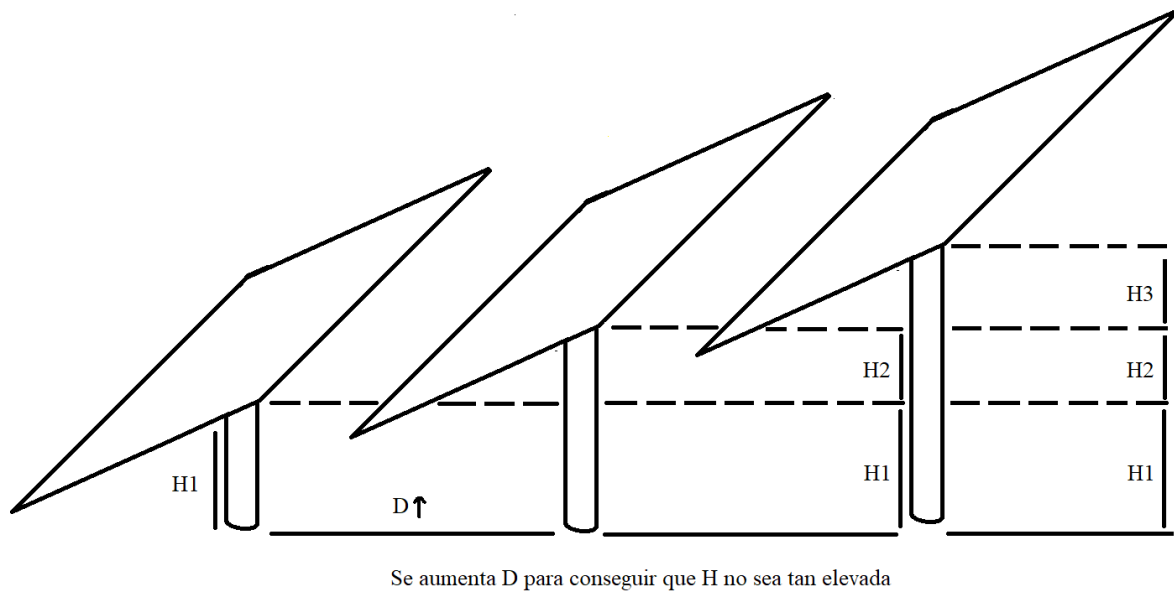


Figura 66: Recalculo de la altura distanciando ligeramente las placas.

Otra solución es en la que no se ponga una cantidad excesiva de paneles contiguos debido a que o bien no son necesarios o bien se pongan de forma horizontal.

Quizá la situación más común en todos los casos sea reconocer los errores y simplemente permitir que durante las primeras horas del día, cuando los paneles solares están más inclinados, se genere algo de sombra. En estas horas tempranas, el sol aún no brilla por completo desde el horizonte, por lo que la pérdida de luminosidad no es significativa. Como se mencionó en las problemáticas, podríamos esperar a que el sol alcance un ángulo de 15-20 °C, momento en el cual los paneles solares no necesitarían elevarse tanto, lo que permitiría conectar muchos más de ellos en secuencia.

Por otro lado, existen distintos prototipos y empresas que ofrecen algunas ideas de estructura como en la Figura 67. Aunque dependiendo del modelo surgen ciertas limitaciones:



Figura 67: Propuesta N1 de soporte. [19]

Se puede observar que el panel solar está sostenido por una única estructura recta y sólida. Esto genera una gran presión sobre la superficie, lo que puede provocar riesgos como la rotura y el desgaste del tejado. Esta configuración sería más adecuada para instalaciones directamente en el suelo, como las granjas solares, donde la superficie no se vería afectada. Además, al estar el punto de sujeción tan alejado del panel, las fuerzas externas, como el viento, pueden ser aún más perjudiciales para la estructura debido al momento de inercia que generan comentado.

La Figura 68 presenta la propuesta de diseñar una estructura con múltiples puntos de sujeción. Esta configuración ofrece ventajas que contrarías, ya que distribuye el peso de manera equitativa. Esto resulta especialmente beneficioso para superficies más débiles, como el tejado de una vivienda rural. Sin embargo, existe una mayor dificultad para implementar este tipo de estructura, ya que implica un coste adicional en la instalación, lo cual puede resultar costoso para aquellas familias con mayores limitaciones económicas.



Figura 68: Propuesta N2 de soporte. [20]

Para solucionar este problema, se ha estado intentando pensar ideas y buscando distintas propuestas de profesionales, encontrando algunas como la de la Figura 69.

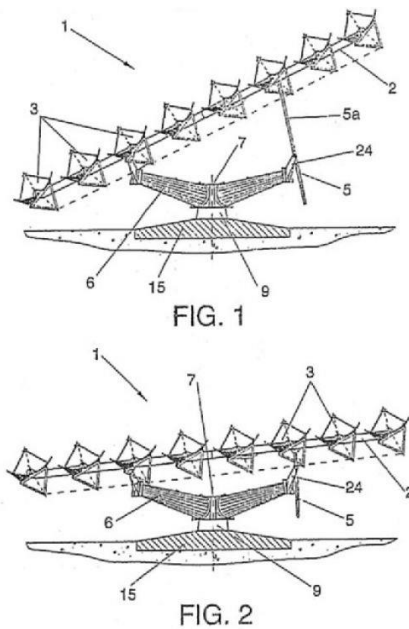


Figura 69: Propuesta N3 de soporte. [21]

Esta estructura ofrece la posibilidad de sostener el sistema con un solo punto de sujeción, al agregar una estructura metálica como una "superficie de apoyo" que permite distribuir el peso sin incurrir en grandes costos. Una de las principales ventajas es la distancia adicional que se logra levantar los paneles. Como se ha visto previamente, al colocar una cadena de paneles colindantes, a medida que se eleva el primer panel, los siguientes también deben elevarse, lo que resulta en una acumulación de altura que puede llevar el sistema a puntos peligrosos, siendo necesario establecer un límite máximo de paneles y altura que se pueden elevar. Con esta propuesta, el primer panel se ubicaría lo más bajo posible, aprovechando al máximo ese margen.

En resumen, esta opción tiene un gran potencial y quizás en futuros modelos más refinados y con un enfoque centrado en esta área, se pueda lograr algo que ofrezca muchas más ventajas con pocas complicaciones. Aun así, por ahora, actualmente es una opción que vale la pena investigar debido a la variedad de posibilidades. Dependiendo de la situación, se puede buscar un diseño en el que las desventajas no sean un problema y que ofrezca numerosos beneficios. No existe un modelo universal, pero se podría implementar de manera efectiva en cualquier situación con el conocimiento adecuado.

7. Conclusión

En conclusión, el proyecto de diseño y construcción del prototipo de seguidor solar ha servido para poder entender en profundidad todos los aspectos influyentes, con ello se observa que un seguidor solar es un sistema de bajo coste, con un diseño sencillo, y gracias a ello es una opción que, aunque a día de hoy no esté muy asentada, en un futuro próximo será imprescindible para optimizar la eficiencia energética. Mediante el uso de sensores lumínicos y un microcontrolador, se ha logrado desarrollar un sistema capaz de detectar la posición del sol y articular motores para orientar las placas fotovoltaicas de manera óptima. Aunque se han identificado desafíos y limitaciones, este proyecto sienta las bases para futuros avances en el campo de la energía solar, ofreciendo la posibilidad de mejorar la captación de energía y contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles. A su vez con toda esa información, se valora la posibilidad del 3º eje tan mencionado con una respuesta bastante positiva aun con matices, observando cómo es una propuesta bastante interesante pero solo con instalaciones que sigan una serie de requisitos.

En un futuro se plantearía la posibilidad de dar el siguiente paso y diseñar ese tercer eje comentado valorando de nuevo su viabilidad de forma practica y mejorando el diseño actual teniendo en cuenta las limitaciones mencionadas a lo largo del documento.

8. Referencias

- [1] <https://www.monsolar.com/blog/calcular-la-separacion-entre-filas-de-placas-solares-para-evitar-sombras/>
- [2] <https://autosolar.es/pdf/datasheet-deep-blue-480-505.pdf>
- [3] <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t20/p274/serie/prov/p01/10/&file=01006.px#!tabs-grafico>
- [4] <https://www.onubaelectronica.es/foto-diodo/>
- [5] <https://docs.rs-online.com/5a97/0900766b8155e9c0.pdf>
- [6] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/28809/TI/TL081CP.html>
- [7] <https://docs.arduino.cc/static/0055f0f674a370082a004a88337a9605/A000005-datasheet.pdf>
- [8] <https://www.luisllamas.es/esquema-de-patillaje-de-arduino-pinout/>
- [9] <https://datasheetpdf.com/pdf-file/791970/TowerPro/SG90/1>
- [10] <https://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html>
- [11] <https://github.com/BrownDogGadgets/SolarTracker/tree/master/Dual%20Axis%20Tracker/Laser>
- [12] <https://docs.rs-online.com/5a97/0900766b8155e9c0.pdf>
- [13] Imagen obtenida del temario de Electrónica analógica de la Etsid UPV.
- [14] Imagen obtenida del temario de S.D.A. de la Etsid UPV.
- [15] <https://www.mikitsolar.es/blog/todo-sobre-el-seguidor-solar-desde-su-funcionamiento-hasta-su-precio-n284>
- [16] <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- [17] <https://es.slideshare.net/kelvinsevillano/tabla-momento-de-inercia-slidos-rigidos>
- [18] https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947489/3_momento.html
- [19] <https://www.todoensolar.com/Mini-seguidor-solar-de-9-m2>
- [20] <https://degeriberica.com/seguidores-solares-de-1-eje/deger-85/>
- [21] <https://patentados.com/2010/seguidor-solar-de-tres-ejes-de-gran>

Para la realización de este trabajo han sido consultados además de los apuntes ya mencionados, los siguientes libros.

**Física para ingeniería, Tomo 1, Antonio Sanchis Sabater.
Lecciones 10 y 11.**

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/11d39d62-d688-4bd8-9ce3-39272d928ccb/TOC_6613_01_01.pdf?guest=true

Fundamentos de la electrónica de Francisco Castells, Raúl Esteve y David Moratal
https://www.lalibreria.upv.es/portalEd/UpvGStore/products/p_226-4-1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DEL DISEÑO**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

Curso 2022/2023

TRABAJO DE FIN DE GRADO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR
SOLAR PARA EL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA VENTAJA DE UN
TERCER MOVIMIENTO PRISMATICO**

DOCUMENTO 2. PLIEGO DE CONDICIONES

AUTOR: Pedro Mínguez Gómez
TUTOR: Dr. Enrique Berjano Zanón

INDICE

1. Objeto	3
2. Definición y alcance.....	3
3. Condiciones y normas de carácter general	3
4. Condiciones particulares.....	5
4.1. Especificaciones técnicas	5
4.1.1. Estructura	5
4.1.2. Electrónica	6
4.2. Normas de ejecución.....	8
4.2.1. Carga del programa en el microcontrolador	8
4.2.2. Fabricación y montaje de la estructura.....	9
4.3. Pruebas de servicio	10

1. Objeto

Documento que compila todas las demandas técnicas y legales que regirán la realización del proyecto. Incluye todas las especificaciones relevantes que deben tenerse en cuenta durante todo el diseño. Estas especificaciones engloban todas las cualidades requeridas para un producto o servicio, establecidas por el cliente y en conformidad con las leyes y regulaciones vigentes. Estos documentos son parte del contrato del proyecto entre el propietario y el contratista/fabricante, junto con los planos y el presupuesto. Sus disposiciones se consideran cláusulas contractuales auténticas.

La presente especificación técnica hace referencia a la fabricación de un pulsómetro digital con pantalla de salida. Se entiende como fabricación al diseño, desarrollo y montaje de cada uno de los componentes del pulsómetro con el fin de obtener el producto que mejor se adecúe a las especificaciones del encargo.

2. Definición y alcance

La presente especificación técnica se refiere al diseño de un seguidor solar cuyo objetivo es conseguir una idea más precisa de los resultados que ofrecerá el mismo, cómo se integra este en el entorno y cuán práctico será.

El alcance abarca todos los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de la instalación.

Ante determinados supuestos se podrán adoptar distintas soluciones a las exigidas en este documento siempre que iguale o mejore su rendimiento y se justifique, cumpliendo de igual manera con las exigencias de calidad mínimas recogidas en este documento.

Queda excluido del encargo la puesta en el mercado, así como el servicio técnico y mantenimiento.

3. Condiciones y normas de carácter general

Según la página web oficial de la UNE (Normalización Española):

UNE-EN 60204-1:2019

Vigente / 2019-04-10

Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales

UNE-EN IEC 61439-1:2021/AC:2022-01

Vigente / 2022-03-02

Conjuntos de aparata de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.

IEC TS 62257-9-6:2019 RLV

Vigente / 2019-09-26

Energía renovable y sistemas híbridos para electrificación rural - Parte 9-6: Sistemas integrados - Recomendaciones para la selección de Sistemas Fotovoltaicos de Electrificación Individual (PV-IES)

UNE-EN 60068-2-14:2011 Vigente / 2011-02-09
Ensayos ambientales. Parte 2-14: Ensayos. Ensayo N: Variación de la temperatura.

UNE-EN 60068-2-69:2017 Vigente / 2017-07-01
Ensayos ambientales. Parte 2-69: Ensayos. Ensayo Te: Ensayo de soldabilidad de componentes y tarjetas electrónicos por el método de equilibrado humectante (medición de fuerza). (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en julio de 2017.)

UNE-EN 60068-2-53:2011 Vigente / 2011-05-11
Ensayos ambientales. Parte 2-53: Ensayos. Ensayos y guías: Ensayos climáticos combinados (temperatura/humedad) y dinámicos (vibración/choque).

UNE-EN 61724-1:2017 Vigente / 2018-06-01
Rendimiento del sistema fotovoltaico. Parte 1: Monitorización (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en junio de 2018.)

UNE-EN 62817:2016/A1:2019 Vigente / 2019-06-26
Sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño de los seguidores solares.

UNE-EN IEC 61131-9:2022 Vigente / 2022-09-01
Autómatas programables. Parte 9: Interfaz digital de comunicación punto a punto para sensores y accionadores pequeños (SDCI) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en septiembre de 2022.)

UNE-EN IEC 63041-3:2020 Vigente / 2020-11-01
Sensores piezoeléctricos. Parte 3: Sensores físicos. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2020.)

UNE-EN 61010-1:2011 Vigente / 2011-06-22
Requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio. Parte 1: Requisitos generales.

RD 244/2019

Regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del Real Decreto 15/2018 de medidas urgentes para la transición energética y la protección a los ciudadanos que habían realizado una inversión en autoconsumo fotovoltaico.

4. Condiciones particulares

Apartado para concretar las siguientes condiciones a la hora de aceptar dicho producto.

4.1. Especificaciones técnicas

Se explicará de forma detallada las condiciones de los materiales.

4.1.1. Estructura

4.1.1.1. Material de soporte

Partes encargadas de la sujeción y el libre movimiento del sistema, conformado por, base, primer eje y segundo eje donde se encontrará el efector final. Al ser un prototipo se empleará cartón pluma para la comprobación del funcionamiento, ofreciendo la rigidez suficiente para sostener los pequeños componentes y dándole un mínimo de resistencia, a la vez que se hace liviano y sin encarecer el sistema, ideal para realizar pruebas experimentales en distintos entornos.

Las dimensiones y secciones de las distintas partes de la estructura quedan identificadas en el apartado de planos.

Sus características son las siguientes:

- Ligereza.
- Resistencia media a impactos o fatiga.
- Aislamiento eléctrico.
- Alta absorción de humedad (no supondrá un problema debido a la facilidad de transporte e instalación, se podría retirar en caso de condiciones adversas).
- Posibilidad de reciclaje.
- Método de fabricación sencillo y de bajo coste.

4.1.1.2. Material de recubrimiento

Capa adicional de pintura antihumedad blanca que cubrirá y protegerá la madera tanto de la radiación solar a la que se verá expuesta, como al agua.

4.1.1.3. Material de fijación

Para la sujeción de las piezas se emplearán:

- 6 Tornillos de 4 mm de estrella para la unión del servomotor a la estructura.
- 1 Tornillo cilíndrico M10 40 mm.
- 1 Tuerca de M10 para el libre movimiento del panel.
- Silicona transparente de fijación para uso industrial.

4.1.2. Electrónica

4.1.2.1. Microcontrolador Arduino nano

Se trata de un uC de bajo coste altamente versátil, gracias a su tamaño compacto, es ideal para este proyecto donde el espacio es limitado. A su vez ofrece una amplia gama de sensores y actuadores.

Sus características son:

- Microcontrolador ATmega328P de 8 bits.
- Velocidad máxima de reloj de 16 MHz configurables.
- Sin flash externa. (Con la posibilidad de integrarle una SD manualmente)
- Sin conectividad wifi.
- 14 pines digitales de entrada/salida, 6 PWM. 8 conversores analógico-digital (ADC) de 10 bits.
- Tensión de salida de 5 V o 3.3 V.
- Consumo bajo.
- Modo consumo stand-by (1mW) y deep sleep (1uA).

4.1.2.2. Tarjeta expansión 328P para Arduino NANO

La tarjeta de expansión 328P para Arduino Nano es un módulo que amplía las capacidades de la placa. Se basa en el microcontrolador ATmega328P y agrega más pines de E/S digitales y analógicos, permitiendo proyectos más complejos y con conexiones de dispositivos adicionales. Mejora la capacidad de procesamiento y la cantidad de pines disponibles. Ideal para control de motores, pantallas y sensores.

Características:

- Microcontrolador de 8 bits con arquitectura RISC.
- Velocidad de reloj de hasta 16 MHz.
- 32 KB de memoria flash para almacenar el código del programa.
- 2 KB de memoria RAM.
- 1 KB de memoria EEPROM para almacenar datos no volátiles.
- 23 puertos GPIO (General Purpose I/O).
- 1 puerto UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).
- 1 interfaz SPI (Serial Peripheral Interface).
- 1 interfaz I2C (Inter-Integrated Circuit).
- 3 temporizadores.

4.1.2.3. Alimentación

La alimentación del dispositivo viene dada por una batería recargable de iones de litio de 9V y 12800 mAh. podrá trabajar en un rango de temperaturas de entre -20°C y 65° aunque su temperatura óptima de funcionamiento son 25°C.

4.1.2.4. Resistencias

Se propone utilizar un conjunto de resistencias de la serie HVR25 de la marca VISHAY, que cumplen con los requisitos del proyecto. Estas resistencias ofrecen una tolerancia máxima del 5% y un coeficiente de temperatura de +-2200 ppm/K. Además, tienen una tensión máxima de 1600 V, lo cual es más que suficiente para satisfacer las necesidades del proyecto. Estas resistencias son adecuadas en términos de potencia y cumplen con todas las normas y regulaciones aplicables. Además, cuentan con certificaciones de conformidad y han demostrado ser de alta calidad en pruebas y verificaciones.

4.1.2.5. Condensador

Este apartado tiene como objetivo establecer las características y requisitos técnicos del condensador de cerámica, modelo D471K20Y5PH63L2R (KEMET) que será utilizado en el contexto de este proyecto. El condensador se utilizará para el sistema de filtrado de la salida de los sensores.

El condensador deberá cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Capacidad nominal: 2,2 Microfaradios (μF).
- Tensión nominal: 50 Voltios (V).
- Tolerancia de capacidad: 10 %.
- Rango de temperatura de funcionamiento: -25 °C a +85 °C.

4.1.2.6. Amplificador Operacional

Se utilizará el amplificador operacional TL081 de la marca Texas Instruments. El TL081 es un amplificador operacional de propósito general, conocido por su alta ganancia, bajo nivel de ruido y amplio rango de voltaje de alimentación.

4.1.2.7. Protoboard

Una protoboard, es una herramienta utilizada en electrónica para probar circuitos eléctricos de manera temporal. Esta, consiste en una placa rectangular con una matriz de orificios interconectados eléctricamente que permiten insertar y conectar componentes electrónicos sin la necesidad de soldarlos. Siendo muy útiles para el prototipado rápido y la experimentación, ya que permiten realizar cambios y ajustes en los circuitos de forma

fácil y rápida, sin la necesidad de realizar soldaduras permanentes y pudiendo así probar circuitos antes de implementarlos en placas de circuito impreso (PCB) más permanentes.

El producto elegido es el Mini Protoboard MB-102 de 400 Pin con 4 Barras de Alimentación perfecto para una maqueta donde el espacio es reducido y a su vez se requirieren un gran número de conexiones.

4.1.2.8. Fotodiodos SFH203FA

Este apartado tiene como objetivo establecer las características y requisitos técnicos del sensor. Para este caso se ha optado por el fotodiodo, más específicamente el modelo SFH203FA (OSRAM). El fotodiodo se empleará para el sistema de recepción de la señal deseada como es en este caso la luz.

Debiendo cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Montaje THT.
- Longitud de onda λ 750...1100nm.
- Ángulo de visión 20°.
- Tensión de retorno máx de 50V.
- Corriente de reposo 1nA.

4.1.2.9. Elementos de conexión

Los elementos de conexión entre los distintos componentes serán cables de cobre, algunos soldados a los terminales de cada componente de la manera indicada en los planos, mientras que otros irán introducidos en sus respectivas ranuras de la protoboard y la extensión ATM. Los cables presentan un aislamiento de poliuretano de diferentes colores para diferenciar de manera segura las conexiones.

4.2. Normas de ejecución

4.2.1. Carga del programa en el microcontrolador

El primer paso para comenzar con el montaje del producto consistirá en la carga del programa en el microcontrolador. Después de esto se procederá al montaje del mismo en la carcasa junto con el resto de los componentes. Para cargar el programa se usa la IDE de arduino.

Los pasos que seguiremos para ello son:

- 1- Se conecta el programador a un puerto USB del PC.
- 2- Se conecta a través del adaptador, el programador al puerto IDE de la placa especial sin alimentar en la que se encuentra el microcontrolador.

- 3- Se procede a la alimentación de la placa. Si está siendo alimentada de manera correcta el LED de la placa se pondrá de color verde.
- 4- Ir a la dirección donde se halla el programa y ejecutarlo.
- 5- Una vez terminado el proceso, cortar la alimentación del microcontrolador y retirar el conector del programador.
- 6- Alimentar de manera constante mediante el puerto Jack con una tensión continua de 9V.

El ordenador donde se va a conectar el microcontrolador para cargar el programa deberá tener instalado el software de “ARDUINO”.

4.2.2. Fabricación y montaje de la estructura

La idea principal es construir una maqueta de cartón con unos planos a escala 1:2, recalándolos a 1:1. Para ello, los materiales necesarios fueron: planos a escala 1:2, papel Din A4, cartón, cúter, regla metálica, lápiz, papel de lija, silicona, cola blanca y pintura blanca.

Una vez preparado los materiales, es importante estudiar los planos, identificando los cortes, pliegues y áreas que necesitarán refuerzo en caso de ser necesario. Para transferir los planos al cartón, se coloca encima una hoja A4 donde se habrán impreso previamente los planos a escala 1:1, marcando las líneas de corte utilizando un lápiz. Posteriormente, se utiliza un cúter y una regla para cortar el cartón a lo largo de las líneas marcadas, evitando cortes desiguales o daños.

Una vez obtenidas todas las piezas cortadas sobre el cartón se procede con el ensamblaje de ellas. Primero se juntan las piezas una por una y por secciones separadas (Base, Eje1, Eje2) aplicando silicona en las áreas que requieran unión, siguiendo las instrucciones del fabricante para el tiempo de secado. Puesto que había zonas que necesitaban de una mayor resistencia, se utilizó además una capa adicional de cola blanca.

Finalmente, para el acabado, se utiliza papel de lija para suavizar los bordes y eliminar cualquier irregularidad en el cartón. Con todo ello, se limpia la maqueta para eliminar residuos.

Realizada la maqueta, se pasa al pintado utilizando una brocha y pintura blanca antihumedad, no es necesario pintar antes de ensamblar puesto que todas las piezas son fácilmente alcanzables y muchas de ellas no son necesarias pintarlas al no encontrarse en zonas fáciles de ver una vez montada la maqueta.

Con las 3 partes ya ensambladas, pintadas y secadas se procede a montar cada uno de los servomotores como los planos indican en cada una de sus posiciones, montando tanto el servo, como sus respectivos brazos de plástico a la pieza donde se desea que se transmita su movimiento. Por último se atornillan los brazos a los servomotores y se introduce el tornillo de 40 mm con la tuerca para hacer de bisagra y permitir el movimiento del 2 eje.

Con la maqueta ya terminada se pegan a la superficie de la base restante la extensión ATmega con su Arduino nano, la batería de 9 V y el panel de protoboard con el circuito montado como muestran los planos.

Como nota adicional en este proyecto se añadió una placa solar para aprovechar el producto una vez sea funcional.

4.3. Pruebas de servicio

Después de completar todos los pasos previos, es necesario verificar que el sistema funcione correctamente y cumpla con todas las condiciones mencionadas en el pliego. Para ello, se llevará a cabo una prueba inicial en la que se pondrá en funcionamiento el producto y se observará si se orienta adecuadamente hacia el foco de luz. Durante esta prueba, se tendrán en cuenta valores como la velocidad de respuesta, estabilidad, precisión y área de trabajo para evaluar si cumple con los requisitos mínimos para considerarse un funcionamiento correcto.

Una vez confirmado el correcto funcionamiento, se procederá a realizar pruebas de medición para verificar los valores de corriente y tensión a lo largo del circuito, asegurándose de que no haya pequeños errores de funcionamiento que puedan provocar sobrecalentamientos o errores de cálculo.

Finalmente, se utilizará el monitor serie para verificar y comprender en detalle todos los pasos del código, asegurando un funcionamiento adecuado a nivel de software y detectando posibles errores de optimización.

Una vez realizadas todas estas comprobaciones, se llevará a cabo un análisis de comportamiento para evaluar el rendimiento del sistema en la memoria. Se recopilarán todos los datos mencionados a lo largo del proyecto para obtener conclusiones sobre su comportamiento y viabilidad.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2022/2023

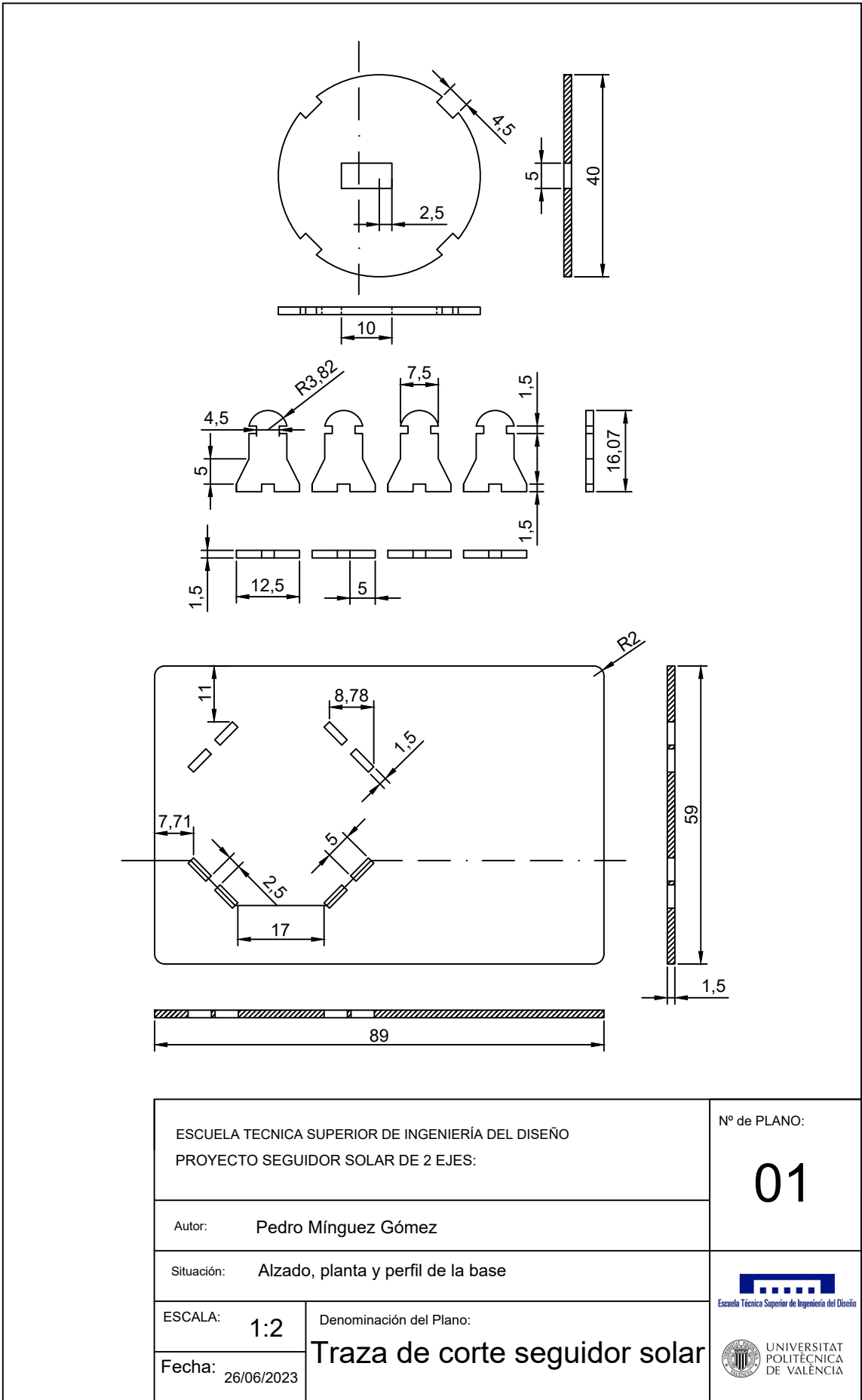
TRABAJO DE FIN DE GRADO:



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR
SOLAR PARA EL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA VENTAJA DE UN
TERCER MOVIMIENTO PRISMÁTICO**

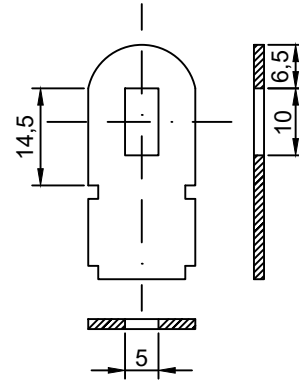
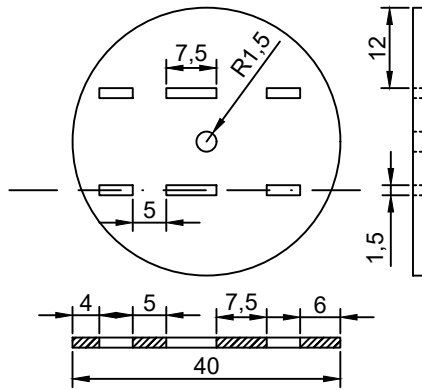
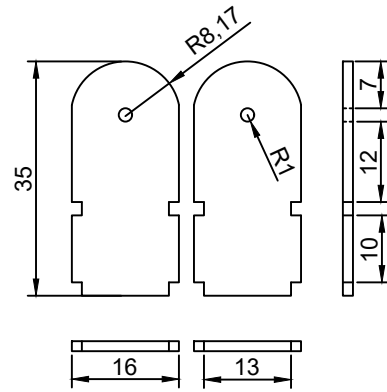
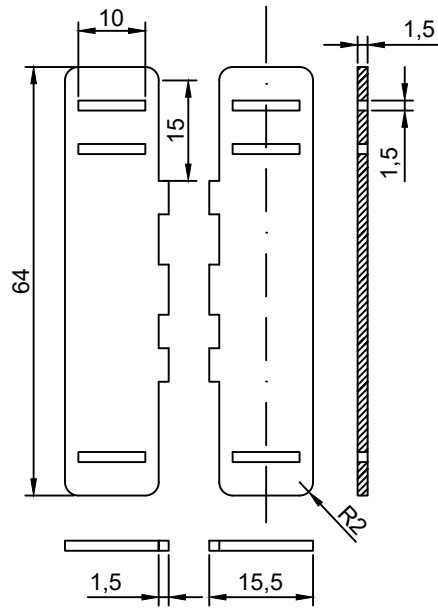
DOCUMENTO 3. PLANOS



AUTOR: Pedro Mínguez Gómez

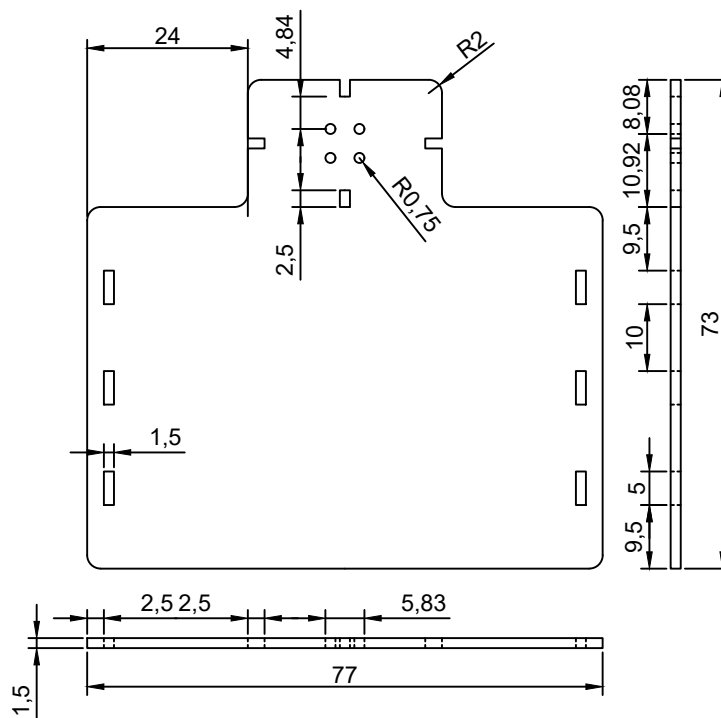
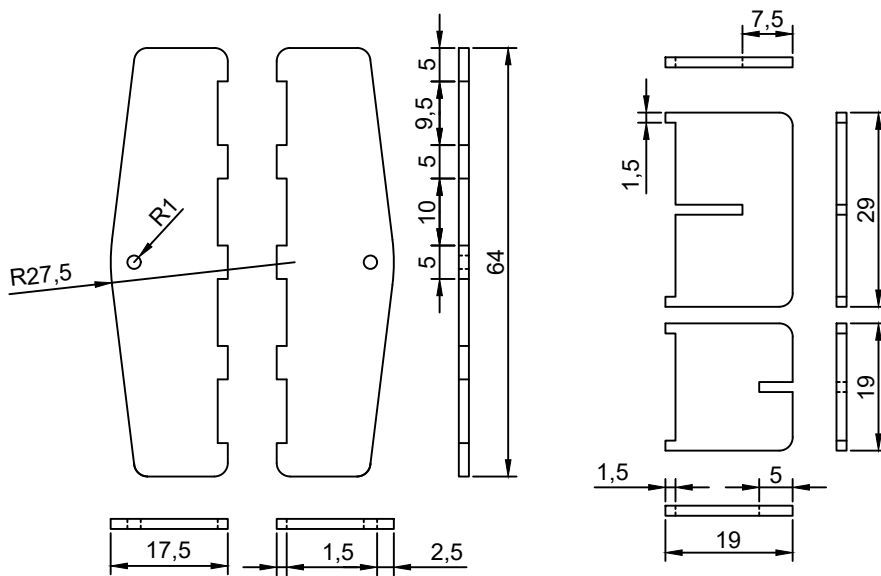
TUTOR: Dr. Enrique Berjano Zanón





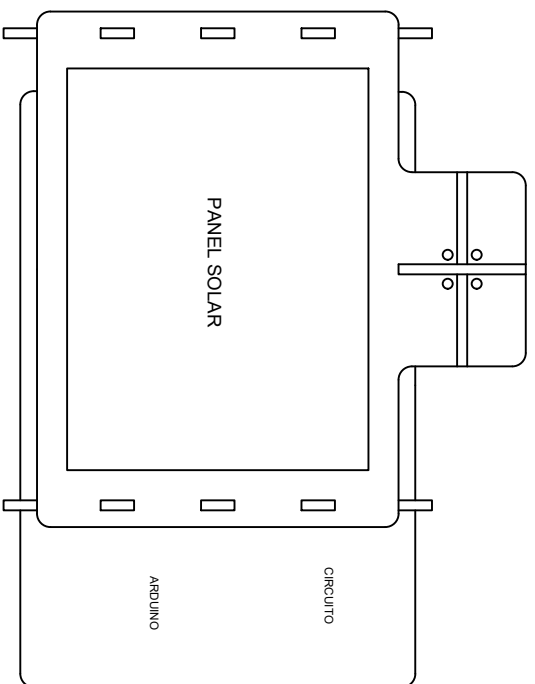
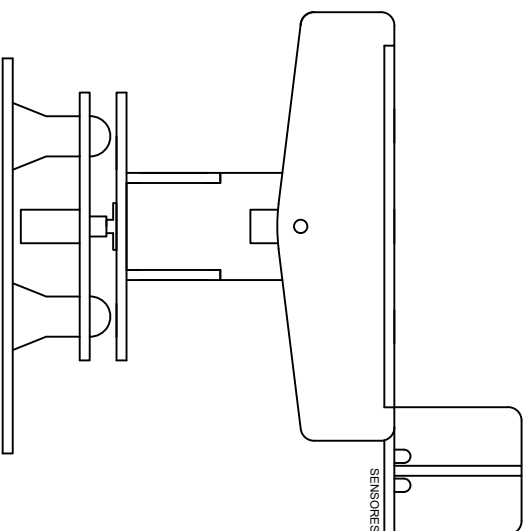
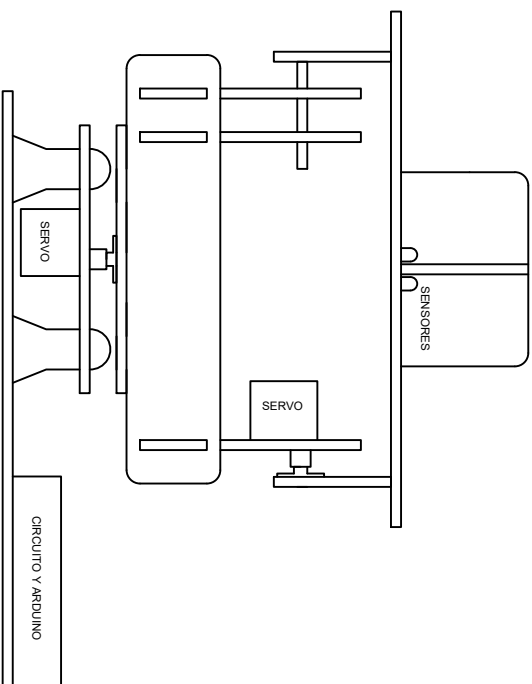
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES:		Nº de PLANO: <h1>01</h1>
Autor: Pedro Mínguez Gómez		
Situación: Alzado, planta y perfil de la base		 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCALA: 1:2	Denominación del Plano:	
Fecha: 26/06/2023	<h2>Traza de corte seguidor solar</h2>	



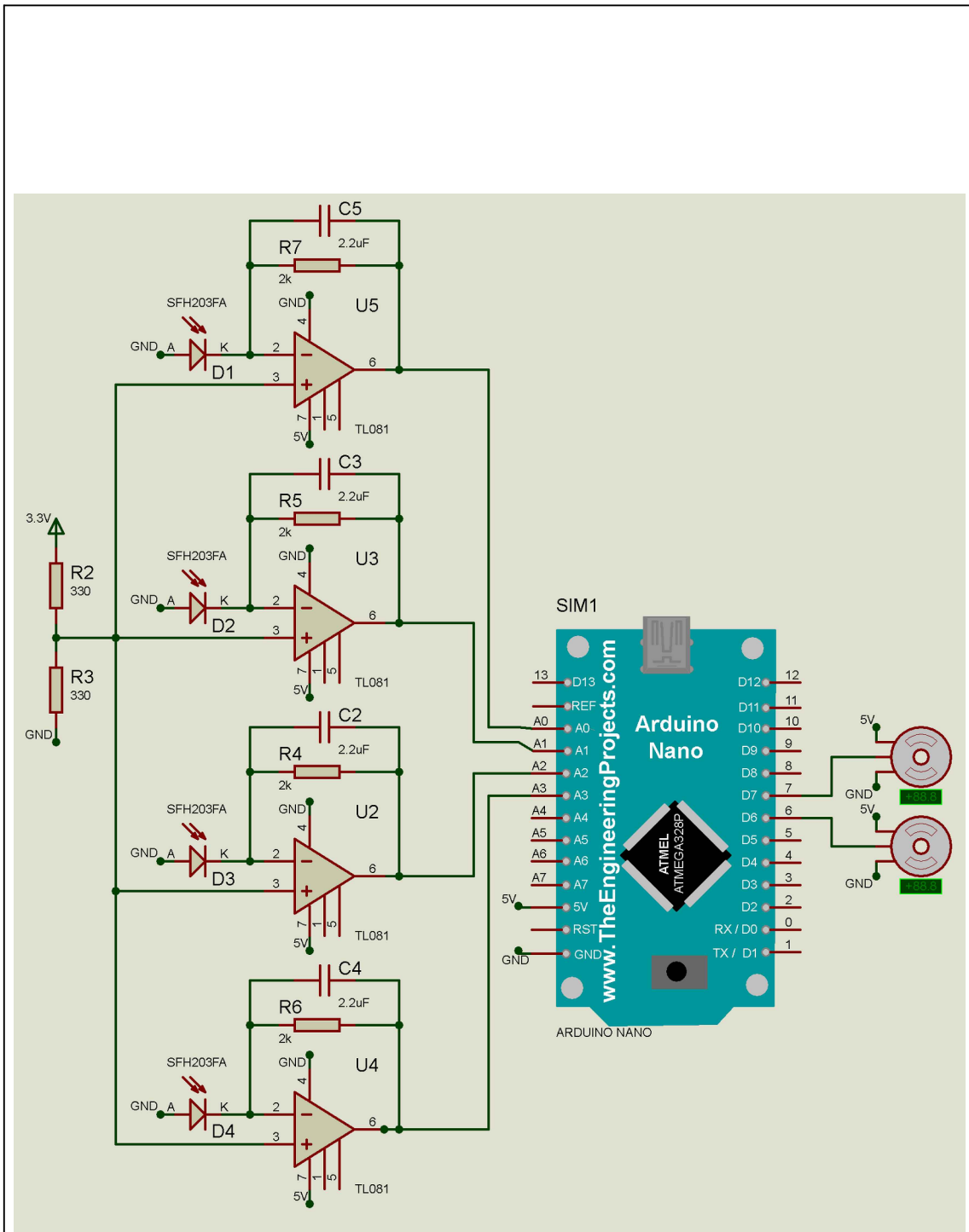
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES:		Nº de PLANO: <h1 style="text-align: center;">02</h1>
Autor: Pedro Mínguez Gómez		
Situación: Alzado, planta y perfil del 1º eje		 
ESCALA: 1:2	Denominación del Plano:	
Fecha: 26/06/2023	<h2 style="text-align: center;">Traza de corte seguidor solar</h2>	





ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES:		Nº de PLANO: <h1>03</h1>
Autor: Pedro Mínguez Gómez		
Situación: Alzado, planta y perfil del 2º eje		 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCALA: 1:2	Denominación del Plano:	
Fecha: 26/06/2023	<h2>Traza de corte seguidor solar</h2>	



<p>ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DEL DISEÑO PROYECTO SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES:</p>		Nº de PLANO:
<p>Autor: Pedro Minguez Gómez</p>		<p>04</p>
<p>Situación: Alzado, planta y perfil de la maqueta final</p>		
<p>ESCALA: 1:2</p>	<p>Denominación del Plano:</p>	
<p>Fecha: 26/06/2023</p>		<p>Maqueta del seguidor solar</p>
<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>		<p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</p>



ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO PROYECTO SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES:		Nº de PLANO: <h1 style="text-align: center;">05</h1>	
Autor: Pedro Mínguez Gómez			
Situación: Esquema electrónico		 	
ESCALA: N/A	Denominación del Plano:		
Fecha: 26/06/2023	<h2>Circuito del seguidor solar</h2>		



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2022/2023

TRABAJO DE FIN DE GRADO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR
SOLAR PARA EL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA VENTAJA DE UN
TERCER MOVIMIENTO PRISMÁTICO**

DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO

AUTOR: Pedro Mínguez Gómez

TUTOR: Dr. Enrique Berjano Zanón

INDICE

1. Introducción.....	3
2. Presupuesto descompuesto de la estructura	4
3. Presupuesto descompuesto del diseño	5
4. Presupuesto descompuesto del conexionado y comprobación	5
5. Resumen del presupuesto	6

1. Introducción

El presupuesto aquí presentado hace referencia a la fabricación de un prototipo de seguidor solar dos ejes. Se encuentra dividido en distintos apartados como son la estructura, el diseño, el montaje y la comprobación del producto final. Cada partida muestra tanto los distintos materiales y su coste asociado como el coste de la mano necesaria para su fabricación.

TABLA 1			
COSTES ELEMENTALES			
Ref	Ud	Descripción	Precio
Materiales			
m1	u	Microcontrolador Arduino Nano	1,64
m2	u	Resistencias	0,01
m3	u	Fotodiodo SFH 203	0,86
m4	u	Condensador	0,26
m5	u	Bateria 9v	1,10
m6	u	Extensión ATM	5,80
m7	u	A.O. TL081	0,70
m8	u	Cableado	1,90
m9	u	Protoborad	5,00
m10	u	Carton pluma	1,90
m11	u	Cola	5,90
m12	u	Silicona	5,43
m13	u	Pintura blanca	3,00
m14	u	Tornillos	0,05
m15	u	Tornillo cilindrico	0,05
m16	u	Tuerca	0,02
m17	u	Cúter	2,00
m18	u	Brocha	1,70
Mano de obra			
h1	h	Corte	30,00
h2	h	Mecanizado	30,00
h3	h	Lijado	30,00
h4	h	Encolado	30,00
h5	h	Pintar	30,00
h6	h	Diseño	30,00
h7	h	Montaje	30,00

2. Presupuesto descompuesto de la estructura

En este apartado se calcularán de manera descompuesta los presupuestos que corresponden con los componentes electrónicos, estructura y la mano de obra necesaria para el montaje de la maqueta.

TABLA 2					
ESTRUCTURA DE LA MAQUETA					
MATERIALES					
Ref	Ud	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Total (€)
CUBIERTA					
1. Carton	u	Carton pluma, espesor 3mm., tamaño A3	1,90	2,00	3,80
2. Cola	ml	Cola blanca rapida, 750 ml.	5,90	0,10	0,59
3. Silicona	ml	Silicona industrial transparente, 700 ml.	5,43	0,10	0,54
4. Pintura blanca	ml	Pintura antihumedad color blanco, 500 ml.	3,00	0,15	0,45
5. Tornillos	u	Tornillo de estrella de 4 mm.	0,05	6,00	0,30
6. Tornillo cilindrico	u	Tornillo cilindrico de M10 40 mm.	0,05	1,00	0,05
7. Tuerca	u	M10	0,02	1,00	0,02
8. Cúter	u	Cúter de carton pluma	2,90	1,00	2,90
9. Brocha	u	Brocha plana universal 20 mm.	1,70	1,00	1,70
Total Cubierta			20,95	12,35	10,35
PROD. ELECTRONICOS					
1. µc Arduino Nano	u	MicroControlador con cable mini usb incluido	1,64	1,00	1,64
2. Resistencias	u	Resistencias desde 330 Ω hasta 2kΩ	0,01	5,00	0,05
3. Fotodiodo SFH 203 FA	u	I max 1200 µA 3 x 4.5 mm	0,86	4,00	3,44
4. Condensador	m	Condensador de ceramica de 2.2 µF	0,26	1,00	0,26
5. Bateria 9v	u	Bateria Varta Industrials 9V	1,10	1,00	1,10
6. Extensión ATM	u	Extensión Atmega328p para arduino nano	5,80	1,00	5,80
7. A.O. TL081	u	Amplificador operacinal JFET Vabs. 1 V	0,70	4,00	2,80
8. Cableado	u	Cableado de cobre y plastificacion en colores	1,90	2,00	3,80
9. Protoboard	u	Protoboard 400 pts, 83 x 55.4 mm	5,00	1,00	5,00
Total Electronica			12,27	20,00	18,89
MANO DE OBRA					
1. Corte	h	Corte de las pizas sobre el cartón	30,00	12,00	360,00
2. Mecanizado	h	Anclado de servomotores y tornillería	30,00	1,50	45,00
3. Lijado	h	lijado de las asperezas de los bordes	30,00	3,00	90,00
4. Encolado	h	Fijación de las pizas sin movilidad	30,00	3,00	90,00
5. Pintar	h	Pintado blanco a la parte externa de esta	30,00	6,00	180,00
Total Mano de obra			150,00	25,50	765,00
Total Gastos			183,22	57,85	794,24

SUBTOTAL CUBIERTA (€)	SUBTOTAL ELECTRONICA (€)	SUBTOTAL MANO DE OBRA (€)
10.35	18.89	794.24

3. Presupuesto descompuesto del diseño

En este apartado se calculan los presupuestos descompuestos de la mano de obra necesaria para el diseño del prototipo.

TABLA 3				
DISEÑO				
MATERIALES				
Ref	Ud	Precio (€)	Cantidad (h)	Total (€)
MATERIALES				0
MANO DE OBRA DIRECTA				
1. Diseño	h	30,00	260,00	7800,00
Total Gastos		30	260	7800

SUBTOTAL MANO DE OBRA (€)
7800.00

4. Presupuesto descompuesto del conexionado y comprobación

En este apartado se calculan los presupuestos descompuestos de la mano de obra necesaria para el montaje del circuito, puesta en marcha y comprobación de funcionamiento.

TABLA 4				
MONTAJE Y COMPROBACIÓN				
MATERIALES				
Ref	Ud	Precio (€)	Cantidad (h)	Total (€)
MATERIALES				0
PRODUC. ELECTR.				0
MANO DE OBRA DIRECTA				
1. Montaje	h	30,00	40,00	1200,00
Total Gastos		30	40	1200

SUBTOTAL MANO DE OBRA (€)
1200.00

5. Resumen del presupuesto

Esta tabla muestra un resumen de los detalles de cada parte mostrada anteriormente. El coste final se puede ver en la casilla de la esquina inferior derecha.

TABLA 5				
RESUMEN DEL PRESUPUESTO				
Ref	Total material (€)	Mano de obra (h)	Precio M. O. (€)	Total (€)
ESTRUCTURA	29,24	25,00	30,00	779,24
DISEÑO	0,00	260,00	30,00	7800,00
CIRCUITO Y VERIF.	0,00	40,00	30,00	1200,00
Total neto	29,24	325,00	30,00	9779,24
GASTOS GEN. 13%	3,80	42,25	3,90	1271,30
BENEF. INDUSTRIAL 6%	1,75	19,50	1,80	586,75
IVA 21%	7,31	81,22	7,50	2443,83
Total Gastos	42,11	792,97	133,20	14081,13

El total del presupuesto para la fabricación y diseño de UN prototipo es de CATORCE MIL OCHENTA Y UN EURO CON TRECE CENTIMOS.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2022/2023

TRABAJO DE FIN DE GRADO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEGUIDOR
SOLAR PARA EL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA VENTAJA DE UN
TERCER MOVIMIENTO PRISMÁTICO

DOCUMENTO 5. ALINEACIÓN ODS

AUTOR: Pedro Mínguez Gómez

TUTOR: Dr. Enrique Berjano Zanón

ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 2. Hambre cero.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 3. Salud y bienestar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 4. Educación de calidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 5. Igualdad de género.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 10. Reducción de las desigualdades.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 12. Producción y consumo responsables.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 13. Acción por el clima.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 14. Vida submarina.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.



**Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster:
Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.**

ODS 7. Energía asequible y no contaminante.

Los seguidores solares tienen el potencial de apoyar este objetivo al mejorar la eficiencia y la generación de energía solar. Al optimizar la captación de la radiación solar, los seguidores solares permiten que los paneles solares produzcan una mayor cantidad de electricidad durante todo el día. Incrementando la disponibilidad de energía renovable asequible y disminuyendo la dependencia de fuentes de energía no renovables y perjudiciales para el medio ambiente.

ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.

Los seguidores solares fomentan la innovación en el campo de la energía renovable y pueden impulsar el desarrollo de la industria solar. La instalación y mantenimiento de seguidores solares requiere infraestructuras y tecnologías específicas, lo que puede generar oportunidades de empleo y desarrollo de capacidades en el sector de las energías renovables. Además, al aumentar la producción de energía solar, los seguidores solares pueden contribuir a la expansión de la infraestructura energética sostenible.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

La implementación de seguidores solares puede tener un impacto positivo en las ciudades y comunidades sostenibles al fomentar la adopción de energía solar descentralizada. Estos pueden instalarse en azoteas de edificios, parques solares u otras áreas urbanas, lo que ayuda a aprovechar el espacio disponible de manera eficiente. Al aumentar la generación de energía solar, se puede reducir la dependencia de fuentes de energía tradicionales y contribuir a la descarbonización de las ciudades.

ODS 12. Producción y consumo responsables.

Al tener una producción 100% limpia e ilimitada, el usuario final podría consumir más abundantemente de la electricidad sin provocar apenas contaminación, esto no influye sobre la responsabilidad de las personas pero sí sobre el bajo impacto que tendría su irresponsabilidad. Provocando así un efecto extremadamente positivo.

ODS 13. Acción por el clima.

Los seguidores solares desempeñan un papel importante en la acción por el clima al fomentar la adopción de energía solar y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al incrementar la generación de energía solar, los seguidores solares contribuyen a la descarbonización del sector energético y a la mitigación del cambio climático. Además, al utilizar una fuente de energía renovable, ayudan a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y sus impactos ambientales asociados.