



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico prototipo con control angular para uso como módulo educativo en SJL

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Tapia Martel, Jhonny Meyss (orcid.org/0000-0001-5266-5029)

ASESOR:

Mg. Sanchez Huertas, Carlos Enrique (orcid.org/0000-0002-6754-8017)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicada a mis padres, que siempre me enseñaron el valor de la responsabilidad y el esfuerzo, que siempre estuvieron brindándome el apoyo de forma incondicional para avanzar en mi gran meta de culminar mi carrera universitaria. A mis formadores de estudio, quienes me transmitieron sus conocimientos y valores para mi formación profesional, los cuales tuvieron un gran impacto en mi crecimiento académico, forjándome las competencias que pude adquirir a través de ellos.

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme salud y sabiduría para poder tomar las decisiones correctas y cumplir con mis metas, agradecer a mis padres por acompañarme a lo largo de este camino con palabras de aliento y empuje para seguir avanzando. A mi centro de estudios por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente en sus instalaciones; a mis formadores académicos por haberme brindado las herramientas y conocimientos para poder llegar a ser un profesional correcto y con valores.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de la investigación	14
3.2. Variables y operacionalización.....	14
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimiento	16
3.7. Aspectos éticos	17
IV. RESULTADOS	18
V. DISCUSIÓN	48
VI. CONCLUSIONES	51
VII. RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS.....	53
ANEXOS	56

Índice de tablas

Tabla 2. Técnicas e instrumentos de investigación	15
Tabla 3. Radiación en el distrito de San Juan de Lurigancho Mayo 2023, Solarímetro SM206 y Nasa Power Larc.....	18
Tabla 4. Varianza, desviación estándar y Coeficiente de variación, de la muestra del Solarímetro SM206 y Nasa Power Larc	20
Tabla 5. Varianza, desviación estándar y Coeficiente de variación, de la muestra del Solarímetro SM206 y Nasa Power Larc	21
Tabla 6. Irradiación en el distrito de San Juan de Lurigancho.....	22
Tabla 7. Demanda energética del módulo educativo	24
Tabla 8. Especificaciones técnicas del panel solar seleccionado.....	25

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Diagrama de bloques de un control por asignación de polos con factor de corrección k_0	12
Figura 2. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO	13
Figura 3. Radiación en el distrito de San Juan de Lurigancho Mayo 2023, Solarimetro SM206 y Nasa Power Larc	20
Figura 4. Base de datos meteorológicos de la Nasa	22
Figura 5. Irradiación en el año 2021	23
Figura 6. Diagrama eléctrico del proptito.....	23
Figura 7. Diagrama de un motor con carga J y fricción B.....	28
Figura 8. Parámetros del momento de inercia de un panel fotovoltaico	29
Figura 9. Diagrama de un motor eléctrico de corriente continua	29
Figura 10. Esquema de adquisición de datos entre Matlab y Arduino.....	31
Figura 11. Entrada y respuesta a un motor sin carga.....	31
Figura 12. Toolbox system Identification en Matlab	32
Figura 13. Identificación del sistema con la toolbox de Matlab.....	33
Figura 14. sistema con un polo y tiempo de retardo.....	33
Figura 15. Sistema con dos polos y sin tiempo de retado	34
Figura 16. Función de transferencia para un sistema de primer y segundo orden	34
Figura 17. Control PID para un sistema de primer orden	35
Figura 18. Parámetros del controlador PID para un sistema de primer orden	36
Figura 19. Controlador PID para un sistema de segundo orden	36
Figura 20. Parámetros del controlador PID para un sistema de segundo orden ..	37
Figura 21. Código arduino	38
Figura 22. Código en Matlab	39
Figura 23.. Estructura diseñada en SolidWorks	40
Figura 24. Análisis de elementos finitos en SolidWorks	41
Figura 25. Análisis de tensiones en SolidWorks.....	41
Figura 26. Renderizado de la estructura en solidworks.....	42
Figura 27. Renderizado del sistema completo en SolidWorks	42
Figura 28. Declaración de variables.....	52

Figura 29. Envío de datos por el puerto serial.....	53
Figura 30. Función de programación Arduino Control_PID.....	53
Figura 31. Estructura de montaje del panel solar.....	54
Figura 32. Visualización de variables en el Matlab.....	55
Figura 33. Módulo de cargas.....	56

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal hallar del algoritmo de cálculo y determinar del proceso de fabricación para diseñar e implementar un sistema fotovoltaico prototipo con control angular para el uso como módulo educativo. En relación con la metodología, se trata de una investigación de tipo aplicada y desarrollada bajo un diseño experimental, la población de estudio quedó determinada por los sistemas de energía solar, seleccionando como muestra los sistemas de energía solar aislado en un punto coordinado específico, mientras que el muestreo utilizado fue no probabilístico en su modalidad de por conveniencia. La radiación solar con la cual se realizó el dimensionamiento fue 4.19 KW/m².día. Los componentes del diseño integral del panel fotovoltaico de un eje fueron, un panel de 200W, un inversor de DC a AC, un regulador, una batería de 65Ah, un motoreductor, una tarjeta de desarrollo Arduino, un driver L290. La demanda que se obtuvo fue de 585W.h para el módulo de pruebas. Se determinó el modelo matemático del sistema, se realizó la programación de Arduino y cálculo de las constantes de control. A la estructura se le realizó un análisis de esfuerzo por elementos finitos, para realizar la fabricación de la estructura mecánica de un eje del panel fotovoltaico y en funcionamiento se realizaron ajustes del control del seguimiento solar para obtener el módulo integral educativo.

Palabras clave: energías renovables, tecnologías limpias, fotovoltaico, módulo educativo.

Abstract

The main objective of this research is to find the calculation algorithm and determine the manufacturing process to design and implement a prototype photovoltaic system with angular control for use as an educational module. In relation to the methodology, it is an applied type of research and developed under an experimental design, the study population was determined by the solar energy systems, selecting as a sample the isolated solar energy systems at a specific coordinate point, while that the demonstrated used was non-probabilistic in its convenience modality. The solar radiation with which the dimensioning was carried out was 4.19 KW/m².day. The components of the integral design of the single-axis photovoltaic panel were a 200W panel, a DC to AC inverter, a regulator, a 65Ah battery, a geared motor, an Arduino development card, and an L290 driver. The demand that was obtained was 585W.h for the test module. The mathematical model of the system was finished, the Arduino programming was carried out and the control constants were calculated. A finite element stress analysis was performed on the structure to manufacture the mechanical structure of an axis of the photovoltaic panel and in operation definitions of solar tracking control were made to obtain the comprehensive educational module.

Keywords: revewable energies, clean technologies, photovoltaic, educational module.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es cada vez más demandada. Cientos de dispositivos electrónicos y eléctricos se construyen todos los días, como televisores, smartphones, laptops, computadoras de escritorio, etc. El uso de los dispositivos electrónicos alrededor del mundo está incrementando la demanda de energía eléctrica además para poder cubrir la demanda es necesario utilizar diversas fuentes de energía. Existen artículos, como el desarrollado por Espinosa (2020), donde se menciona el crecimiento lineal de la producción de energía eléctrica sin embargo la demanda de energía crece en forma exponencial, debido a eso se estima que para el año 2040 se empezará a tener un déficit de producción de la energía eléctrica.

La energía eléctrica es producida en gran medida a través de la quema de combustibles fósiles en las centrales termoeléctricas. La reacción por la quema de combustibles fósiles genera gases como el CO₂ el cual está estrechamente vinculado al calentamiento global y el efecto invernadero. Las consecuencias para la población son diversas tales como problemas respiratorios, bajo nivel de desarrollo cognitivo en los niños, enfermedades cardíacas, cáncer, entre otros. (Cortés, et al., 2019).

Según el reporte estadístico anual del ministerio de energía y minas del Perú en los años 2018, 2019 y 2020 se tiene una producción promedio de energía eléctrica producida por la quema de combustibles del 60%, 36% de energía hidráulica y 2% tanto de energía solar como eólica, es decir, en varios años la producción de energía renovable no ha tenido un cambio significativo (MINEM, 2018, 2019, 2020). Es indiscutible que este paradigma debe ser cambiado para acercarnos al séptimo objetivo de desarrollo sostenible de la UNESCO el cual es lograr energía asequible y no contaminante y a su vez disminuir el consumo de combustibles fósiles que son cada vez más caros. (UNESCO, s.f.).

Por otro lado, Cuchula, et al. (2021) menciona que los colegios sostenibles en el Perú ahorran un 59% en energía eléctrica al sustituir aparatos eléctricos de bajo consumo como son luces LED, laptops en lugar de PC de escritorio, sistemas de ventilación, entre otros. Además, en la investigación de Cuchula se menciona

que el ahorro conseguido podría ser mayor si se utilizaran fuentes de energía renovables como la energía proporcionada por los paneles solares en los colegios sostenibles. Se evidencia el desconocimiento de los usuarios por la tecnología de ahorro así mismo una falta de concientización en el uso de la energía eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos tienen distintas aplicaciones por ejemplo en las zonas rurales, radioenlace, telemetría, mobiliario urbano, sistema de bombeo, entre otros. (Perpiñán, 2020). Los paneles solares son utilizados en lugares donde no llega la energía eléctrica comercial como en las zonas urbanas, siendo en la primera una conexión con un back up de energía a través de baterías y en la segunda existen paneles solares incorporados en paralelo a la red eléctrica con el fin de disminuir la tarifa mensual.

Se puede evidenciar en las investigaciones alrededor del mundo que cada vez son más aplicaciones de paneles fotovoltaicos en los centros educativos y domicilios con el fin dar energía limpia y cumplir con el acuerdo de Paris (Abbas, et al., 2022). El Perú ratifica su compromiso con el acuerdo de Paris en el año 2016, sin embargo, no se ha hecho esfuerzos por cambiar la energía eléctrica de productos fósiles a energías verdes, como se evidencia en los párrafos anteriores, es por ello que se considera importante realizar estudios desde las universidades para descubrir mejores formas de utilizar la tecnología que está al alcance.

Para optimizar la captación de energía lumínica de los paneles solares es preciso definir la ubicación del panel, así como su posición, es preferible situar el panel solar en zonas donde no existan sombras así también la inclinación del panel y el espacio que hay entre paneles es de suma importancia para poder capturar la mayor cantidad de energía. (Sánchez et al., 2017)

Resulta de suma importancia desarrollar competencias en los educandos para que puedan realizar aplicaciones con los paneles solares, teniendo en cuenta la gran demanda de esta tecnología y las características de estos. Estas competencias deben ser desarrolladas en las aulas de clase en educación secundaria y a su vez ser completadas en las escuelas de educación superior. Debido a que no existe un módulo educativo es necesario diseñar e implementar uno con las características necesarias para el aprendizaje interactivo.

En consecuencia, la presente investigación plantea resolver el siguiente problema general: ¿cuál es algoritmo de cálculo y el proceso de fabricación para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico prototipo con control angular para uso como módulo educativo?, a fin de responder la interrogante formulada se ha visto por conveniente el planteamiento de los siguientes problemas específicos: i) ¿cuál es la dimensión adecuada del panel fotovoltaico para el diseño e implementación del sistema fotovoltaico prototipo con control angular para uso como módulo educativo?, ii) ¿cuál es el control automático en un solo eje óptimo para establecer el seguimiento del sol en un panel fotovoltaico para el prototipo de módulo educativo?, iii) ¿cuál es el tipo de diseño integral que se realizará en el sistema fotovoltaico prototipo con control angular para uso como módulo educativo?

Una vez planteados los problemas de estudio, cabe señalar que la presente investigación se encuentra justificada desde un enfoque tripartito: práctico, social y económica. Desde el punto de vista práctico, la presente investigación contribuye en el conocimiento de los educandos a la aplicación de controladores para sistemas de seguimiento del sol y diseño electrónico de un sistema embebido. El material será una fuente de referencia para los futuros tesisistas que deseen incursionar en las aplicaciones de la teoría de control moderna y la energía solar fotovoltaica. Desde el punto de vista social, permite dar a conocer a los estudiantes de las formas de mejorar la eficiencia en la captación de energía en los paneles solares. Es así que, distribuyendo el conocimiento en los estudiantes, ellos podrían realizar aplicaciones que aporten con la disminución en la quema de combustibles fósiles para reducir en unos porcentajes más el nivel de contaminación. Mientras que, desde el punto de vista económico, el hecho de realizar un control angular a los paneles solares permitirá captar mayor energía con la misma cantidad de paneles en una instalación, reduciendo el dimensionamiento en una instalación. Esto, como ya se había visto, es debido al ángulo de incidencia de los rayos solares en el panel fotovoltaico.

En ese sentido, el objetivo general que persigue la presente investigación es hallar del algoritmo de cálculo y determinar del proceso de fabricación para diseñar e implementar un sistema fotovoltaico prototipo con control angular para el uso como módulo educativo. Para el logro del referido objetivo, se ha precisado plantear

los siguientes objetivos específicos: i) analizar y diseñar el sistema fotovoltaico del módulo educativo para que la energía captada pueda ser utilizada para alimentar cargas de prueba, ii) diseñar y simular un control automático de un solo eje para el seguimiento solar y establecer las representaciones matemáticas del sistema, iii) diseñar integralmente el sistema fotovoltaico para el prototipo del módulo educativo con seguimiento solar en un eje con una interfaz que incluya, además de los paneles con control angular y el dimensionamiento, una estructura con soportes de conexión para cargas de prueba así también visualizadores de potencia, corriente y voltaje.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Dentro del ámbito internacional se han encontrado una serie de investigaciones que guardan estrecha relación con nuestro tópico de estudio, entre las que destacan la investigación realizada por Pelayo et al. (2018) quienes comparan dos tipos de sistemas: el panel solar de un eje y el panel solar con movimiento de dos ejes, es decir un movimiento para el azimut y otro para la altura. Se cuenta con sensores para detectar la posición correcta en el azimut y la altura, estos sensores son paneles solares pequeños colocados en pares formando un ángulo de noventa grados, los cuales se conectan en polos opuestos directamente alimentando a cada motor correspondiente, es decir, no se realiza un control digital a ningún eje sino una comparación de valores de voltaje. La adquisición de datos se realiza con un microcontrolador de la marca Atmega, embebido en la tarjeta de desarrollo Arduino Nano además el microcontrolador opera con los sensores de corriente ACS712 y el sensor de tiempo real DS3231. La investigación tiene como resultado que el panel solar con movimiento en dos ejes es un 7% más eficiente que el panel solar de un eje.

Asimismo, encontramos el estudio realizado por Mayer et al. (2018) quienes desarrollan un control de un sistema de seguimiento solar basado en las ecuaciones de la geometría solar, el cual se apoya de un módulo de posicionamiento satelital para ubicar la latitud y longitud. Las coordenadas del GPS son los parámetros iniciales para que el control pueda establecer un recorrido de acuerdo a la época del año. La mecánica del sistema consta de dos grados de libertad, el cual son dos ejes que accionan el movimiento para el azimut y elevación de la plataforma. El movimiento es provisto por motores paso a paso y un reductor 25:1 para el ángulo cenital y 12,5:1 para el ángulo azimutal estos fueron de gran uso para aumentar el torque. La programación y simulación se hizo en el programa Matlab, los datos obtenidos fueron contrastados con los de la NASA teniendo como resultado con gran similitud.

De igual manera, encontramos el estudio de Carpio (2021) quien realiza un análisis de la energía eléctrica producida por un panel fotovoltaico en tres formas

distintas de instalación. La primera forma es un sistema fijo, el cual es colocado tomando en cuenta la ubicación de latitud en la cual se encuentran y la posición del nacimiento del sol, además de ello cuenta con un microcontrolador atmega328 y sensores de temperatura, humedad y adecuación del voltaje del panel, la información procesada es guardada en una memoria de respaldo externa. La segunda forma es a través de un sistema de un solo eje, el cual realiza un control de seguimiento solar (este a oeste). La estructura fue contruida con ayuda de una impresora 3D, el software CAD y Fusion360. La electrónica es construida con un microcontrolador atmega 328p y programada en el IDE de Arduino, así mismo utiliza un servomotor SG90. La tercera forma de posicionar el panel fotovoltaico es a través de dos ejes y un control a través de servomotores. De igual manera que las dos primeras versiones, se cuenta con un microcontrolador Atmega 328p y una estructura impresa en 3D. La investigación concluye con valores de energía capturada notablemente mejores en los sistemas de un eje y dos ejes comparado con el sistema de posición fija de alrededor del 60%.

Por otro lado, en el ámbito nacional encontramos estudios relacionados al tópico de estudio abordado en la presente investigación, entre los que destaca la investigación desarrollada por Mamani (2020) quien realizó el seguimiento del sol utilizando visión por computadora. El sistema consta de una plataforma de dos grados de libertad y una cámara web. Se obtuvo el modelado matemático del sistema, es decir plantear las ecuaciones diferenciales de la dinámica del sistema. El algoritmo que determinó la velocidad se hizo a través del jacobiano de velocidades. La electrónica se hizo con el microcontrolador Atmega 328p, sensores de corriente, reloj en tiempo real y un driver para el motor DC. Los actuadores elegidos son motores de corriente continua de 12 voltios con mecanismo de reducción incluido. El autor concluye el trabajo de investigación obteniendo un resultado favorable de eficiencia con respecto al sistema fijo de 57.53% y 66.87%.

En tanto, Febres (2021) realiza un diseño de un módulo didáctico para adquirir las curvas características de corriente y voltaje en paneles fotovoltaicos, el cual fue destinado al laboratorio de la universidad Señor de Sipán. El módulo didáctico es desarrollado usando una interfaz visual la cual es elaborada con el

software Matlab. El módulo didáctico de Febres tiene como cargas a capacitores, mediante esas cargas establece las curvas de voltaje y corriente.

Finalmente, encontramos la investigación realizada por De la Cruz y Julca (2021) quienes elaboraron el diseño de un módulo didáctico alimentado con energía fotovoltaica para una institución educativa y que éste sea aprovechado por los estudiantes en el curso de electricidad. Los paneles dimensionados fueron de 370 watts cada uno y en total 6 unidades. Se contó con sistemas eléctricos de protección, entre ellos, una llave termomagnética de 25 amperios, 3 llaves termomagnéticas de 16 amperios, 3 llaves termomagnéticas de 10 amperios, contactores eléctricos, reles de 16 amperios y un pulsador de 220 voltios. El sistema captura las señales eléctricas de voltaje y corriente con la ayuda de una tarjeta electrónica embebida programada dentro de la interface de arduino. El módulo didáctico además cuenta con una interface gráfica en android y una comunicación bluetooth para visualizar variables y dar ordenes maestro esclavo al microcontrolador.

Las estaciones terrestres para recopilar datos de radiación las hacen utilizando diversos instrumentos como el piranómetro, pirheliómetro o piranómetro de difusa. El piranómetro o también llamado solarímetro lleva un termopar, el cual es una aleación bimetálica, para transformar la energía y ofrecerla como dato de watts por metro cuadrado. El piranómetro es capaz de realizar tres tipos de lecturas, según el ángulo de incidencia, los cuales son: radiación directa, difusa, albedo o reflejada y total. El pirheliómetro funciona de igual manera a través de un bimetálico, sin embargo, es un instrumento que solo capta la energía directa del sol, por tal motivo, es necesario que el pirheliómetro siempre este paralelo al ángulo de radiación. (Perpiñán, 2020).

Existen fuentes de información de libre consulta en internet como la que proporciona la NASA en su web meteorológica. En la web de la nasa se puede extraer datos para poder conocer la irradiancia de las coordenadas de latitud y longitud que se le proporcione. Esta medida de variables se realiza de manera satelital y es de gran ayuda para dimensionar los paneles fotovoltaicos. La información puede ser exportable en varios formatos, como por ejemplo, CSV, HTML, ASCII, entre otros. Las muestras de datos varían desde diarios, mensuales

y anuales con rangos variables de muchos años o de unos meses, es decir, por ejemplo, se puede conocer como ha estado la irradiancia de un punto determinado del planeta en un rango de 10 años.

PVGIS es otra fuente de información que brinda datos de irradiancia sin embargo la diferencia a la NASA meteorology es que PVSIG es una calculadora para paneles solares. PVSIG puede recepcionar datos de las dimensiones del panel que se desea dimensionar, la inclinación del módulo, la ubicación, entre otras cosas y como salida ofrece la irradiancia directa, difusa y albedo. También se puede obtener información de los meses de mayor irradiancia realizando trabajos en el archivos CSV descargado.

Los paneles fotovoltaicos son sistemas que convierten la energía luminosa en energía eléctrica. La conversión de la energía se realiza por medio del efecto fotoeléctrico, el cual consiste en la liberación de electrones al incidir fotones en la superficie de un semiconductor dopado. La energía eléctrica proporcionada por los paneles fotovoltaicos es considerada limpia y puede ser usada de igual forma que la energía convencional. (Lawrence, 2020).

Los paneles fotovoltaicos son fabricados en celdas encapsuladas por paquetes. Cada paquete es ordenado para suministrar diferentes tipos de voltaje como son 6 voltios, 12 voltios, 24 voltios, o múltiplos. Los paquetes que se comercializan pueden ser ordenados en serie, en paralelo o en una combinación de serie y paralelo, esto es realizado para aumentar el voltaje o corriente de trabajo. Es importante tener las características del panel fotovoltaico para saber el voltaje máximo del arreglo y no dañarlo, por ejemplo, la mayoría de los paneles permite un arreglo con un voltaje máximo aproximadamente de 600 voltios, es decir, que se pueden configurar paneles en serie pero que no superen dicho valor. (Cuchula et. al, 2021)

Las pérdidas en la transmisión de energía eléctrica del panel fotovoltaico a los periféricos pueden ser reducidas considerando un arreglo de paneles de mayor voltaje, es decir, una conexión en serie. Si además lo que se desea es aumentar la potencia del sistema es conveniente instalar paneles conectados en serie.

Las conexiones de los paneles pueden ser determinadas considerando las Ecuaciones 1 y 2 en el diseño:

$$N^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos en serie} = \frac{V_{\text{instalación}}}{V_{\text{nominal pf}}} = N^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaico} \quad (1)$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles en paralelo} = \frac{CMD * K_s}{I_{\text{pico pf}}} = N^{\circ} \text{ de paneles fotovoltaicos} \quad (2)$$

Dónde:

- CMD : Coeficiente más desfavorable.
Ks : Coeficiente de sobredimensionamiento.
V nominal pf : Tensión nominal de los paneles fotovoltaicos.
V instalación : Tensión de la instalación.
I pico pf : Intensidad pico de los paneles fotovoltaicos.

El regulador es un equipo electrónico que es capaz de estabilizar la tensión de los paneles fotovoltaicos para la correcta de carga de las baterías. La energía eléctrica del panel fotovoltaico es variable y su voltaje depende de la irradiancia. Debido a que se puede encontrar voltajes superiores del nominal es importante contar con un regulador. Los reguladores están diseñados para proporcionar una alimentación estable, una carga de baterías regulando la corriente y tensión además de ello la seguridad eléctrica necesaria para eventos como sobretensión y sobrecorriente. Así también existen tipos de reguladores, siendo los que se encuentran comercialmente los siguientes: a) Los reguladores por ancho modulación de ancho de pulso o PWM operan convirtiendo el voltaje y corriente de tal forma que es posible conectar las baterías a un valor cercano de esta conversión, es decir, si un panel fotovoltaico es de "x" voltios el banco de baterías también debe ser de la misma tensión. Los reguladores PWM muestran esta desventaja ya que no es posible operar con un banco de baterías distinto considerando el mismo regulador PWM, sin embargo, el precio de mercado podría ofrecer una ventaja ya que al ser la electrónica más sencilla su precio de venta es muy inferior al regulador MPPT. b) El regulador de seguimiento del punto de máxima potencia o MPPT (por sus siglas en ingles), es un equipo que incluye en su arquitectura electrónica un conversor DC-DC. El regulador MPPT supervisa los

valores de voltaje del panel fotovoltaico y las adapta al valor del banco de baterías por medio del convertido DC-DC. Dicha configuración, en su arquitectura electrónica, permite instalar un mayor rango de bancos de baterías, a diferencia del regulador PWM. Además, dado que supervisa el valor de voltaje, puede ajustar la tensión de salida para alcanzar el punto óptimo en la curva característica potencia-voltios.

Un inversor es un equipo electrónico que es capaz de convertir la energía continua en energía alterna. Se conoce que los paneles fotovoltaicos dan una señal de tipo continua y esta debe ser convertida a una señal alterna para poder prender una lámpara, un motor, entre otros. La energía que es convertida por el equipo inversor debe reunir ciertos requerimientos como son potencia, frecuencia, tasa de distorsión armónica, seguridad eléctrica, etc. Los inversores se comercializan para diferentes potencias, entradas de voltaje, formas de onda, entre otros. La potencia dimensionada depende de la carga que se va a conectar, agregando un factor de seguridad por si requiera que el inversor tenga la opción de agregar una carga adicional a lo que ya se ha dimensionado. Las entradas de voltaje son compatibles a la de las baterías, es decir, vienen en múltiplo de doce, por ejemplo, 12 voltios, 24 voltios y 48 voltios. Las formas de onda que se comercializan son de onda cuadrada y onda sinusoidal pura; si se requiere conectar cargas como focos, motores, licuadoras, se podrá elegir un inversor de onda cuadrada, sin embargo, si se requiere conectar un equipo de mayor costo como una computadora de ingeniería es preferible seleccionar un inversor de onda sinusoidal pura, dado que se asemeja más a la energía comercial y presenta menor cantidad de ruido o armónicos (Howley y Fleischer, 2015). Para seleccionar un inversor se puede utilizar la Ecuación 3:

$$Cantidad\ de\ inversores = \frac{Factor\ de\ seguridad * Potencia_{instalación}}{Potencia\ pico_{inversor}} \quad (3)$$

Las baterías o acumuladores son fuente de almacenamiento de energía a través de celdas electroquímicas. La energía química puede ser convertida en energía eléctrica o puede ser almacenada por un tiempo definido bajo condiciones de temperatura y humedad adecuada. La batería está dividida en celdas y cada una de ellas posee un voltaje de acuerdo a las características del material utilizado

como electrodo y electrolito. Las baterías se pueden utilizar para diferentes aplicaciones y de acuerdo a eso se elige el tipo de batería adecuado, es decir, una batería puede funcionar muy bien para entregar rápidamente su energía y otro tipo de batería puede proporcionar la energía de manera más suave manteniendo su nivel de voltaje por un largo periodo. (Reddy, 2011).

Según lo expuesto en el párrafo anterior, las baterías pueden clasificarse se la siguiente manera: i) De ciclo diario y ii) De ciclo largo. Las baterías de ciclo diario zona aquellas que están en constante carga y descarga debido a la exigencia del sistema. Mientras que, las baterías de ciclo largo son aquellas que necesitan almacenar la energía por varios días, debido a las condiciones climatológicas desfavorables, es decir, poca irradiancia en determinada época del año, nubes constantes, entre otros. Las baterías usadas con mayor frecuencia son las de tipo OPzS las cuales son un tipo de batería de ciclo profundo. Las baterías OPzS son comercializadas en paquetes de dos voltios, es decir, si se quiere llegar a voltajes de doce, veinticuatro o cuarenta y ocho es necesario hacer el arreglo en serie de éstas. Además de este tipo de baterías existe las baterías en bloque que tiene voltajes de doce voltios en su mayoría.

La energía eléctrica puede ser almacenada tanto en baterías de tipo tubular con ácido inundado (OPzS) como también en las baterías tubulares de gel (OPzV). La diferencia de ambas baterías es el estado del electrolito, es decir, en las baterías OPzS el electrolito se encuentra en forma líquida mientras que en las baterías OPzV se encuentra en forma de gel.

Otra familia de baterías son las de tipo bloque, los cuales vienen en presentaciones de 6 voltios y mayormente de 12 voltios. Este tipo de baterías también tienen el electrolito en forma líquida y gel, una diferencia es que el arreglo de las celdas está en paquetes para dar un mayor voltaje que las baterías tipo OPzV o OpzS (Colegio oficial de ingenieros de telecomunicaciones, 2002). Las baterías pueden ser dimensionadas siguiendo la Ecuación 4:

$$C_{nominall} = \frac{L_{dm} F_{SB}}{V * PD_{max}} (A. h) \quad (4)$$

Dónde:

L_{dm} : Consumo de la instalación

F_{SB} : Días de autonomía

PD_{max} : Profundidad de descarga

V : Voltios del sistema

El control automático utiliza algoritmos para llevar a un sistema ya sea mecánico, eléctrico, hidráulico, químico, entre otros, a un punto de consigna, el cual es requerido por el diseñador. El modelo matemático es el primer paso para el diseño de un control automático y se define como la representación de un sistema dinámico en ecuaciones diferenciales. El modelo no es exclusivo, sino, un mismo sistema puede tener diferentes modelos dependiendo de las consideraciones a tomar durante la modelización, así mismo un modelo matemático puede ser igual a dos sistemas, por ejemplo, el modelo de un sistema eléctrico puede ser igual al modelo de un sistema mecánico. (Ogata, 2010)

Existen diferentes algoritmos de control para realizar un control automático por ejemplo el más elemental de todos es el control ON-OFF y que consiste en cambiar la variable manipulada a encendido o pagado dependiendo de los valores umbrales que se tiene. Existen algoritmos de control de mayor popularidad en la industria y en el mundo académico a nivel de pregrado por ejemplo el control Proporcional Integral Derivativo o también conocido por sus siglas PID, este control es capaz de llevar a la variable de proceso a un valor deseado con un error insignificante, sin embargo, no es adecuado para todos los sistemas. Existen más algoritmos de control en la literatura como por ejemplo el control por realimentación de estados, el control óptimo, el control por redes neuronales, etc.

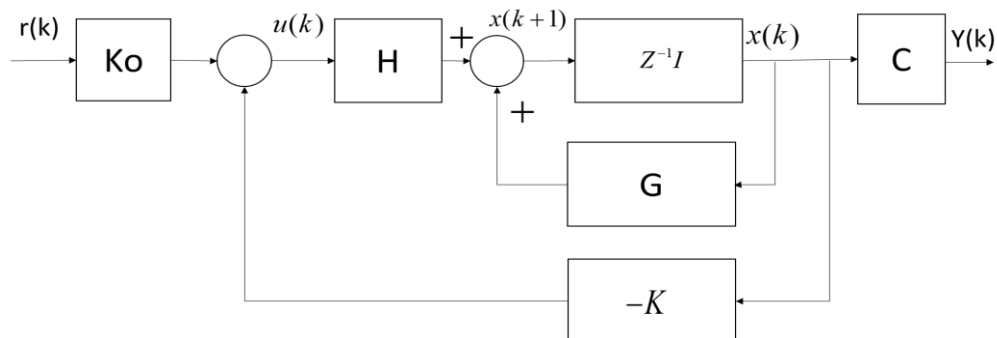


Figura 1. Diagrama de bloques de un control por asignación de polos con factor de corrección k_o . Fuente: propia basado en Katsuhiko Ogata.

Los sistemas microcontrolados tienen un diseño basado en microcontroladores de 8 bits, 16 bits o 32 bits. Estos sistemas son capaces de ser programables y realizar tareas diversas tales como encender indicadores, regular la velocidad de un motor, controlar una impresora, entre otros. Los microcontroladores tienen diferentes arquitecturas como son Von Neumann y Harvard. El microcontrolador de microchip, tanto de las marcas PIC como Atmel son de arquitectura Harvard, esta arquitectura posee memoria de datos y de programa las cuales son conectados por medio de buses de comunicación. (Palacios, Ramiro, & López, 2004).

El microcontrolador Atmel ha tenido una popularidad creciente debido a que son incorporados en las tarjetas de desarrollo de la empresa Arduino. Las tarjetas de desarrollo Arduino tienen en su sistema un microcontrolador de 8 bits, en su gran mayoría, siendo el más popular el Arduino UNO. La tarjeta de desarrollo Arduino cuenta con periféricos y una interface de programación con un lenguaje de alto nivel, el cual es amigable para los usuarios noveles. Existe una gran comunidad que aporta conocimientos al desarrollo de sistemas basado en Arduino, a través, de librerías de programación, videos tutoriales, ejemplos de código, proyectos DIY, entre otros.



Figura 2. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO. Fuente: Arduino.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Con respecto al tipo de investigación, el presente estudio reúne las características de una investigación aplicada. Este tipo de investigación está orientada principalmente a la resolución de problemas sociales a todo nivel, tales como los problemas de salud, contaminación ambiental, educación, etc. (Ñaupás et al., 2018). El presente estudio plantea el uso de energías limpias con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible empleando energías renovables como la luz solar.

En lo referido al diseño, la presente investigación se encuentra enmarcada dentro de un diseño no experimental. Al respecto, Ñaupás et al., (2018) sostienen que se tratan de estudios en los que no existe manipulación intencionada y/o deliberada de las variables de estudio, además el investigador no ejerce control sobre las variables independientes, asimismo este tipo de investigaciones se basan principalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente:

Radiación solar

Variable dependiente:

Prototipo módulo educativo

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

La población estuvo conformada por los sistemas de energía solar, tales como los sistemas aislados y los interconectados, cabe indicar que ambos sistemas hacen uso de los paneles solares fotovoltaicos para transformar la energía solar en electricidad.

Para efectos de la muestra de estudio, se ha previsto sólo considerar el tipo de sistema aislado, en la cual la energía generada se guarda en un banco de

baterías, lo cual otorga independencia al sistema, pues puede ser utilizado por las noches o en días nublados, debido a la carga almacenada.

En lo que respecta al muestreo, la presente investigación utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia.

La unidad de análisis estuvo determinada por el prototipo diseñado que será utilizado como módulo educativo para la enseñanza y aprendizaje del diseño e implementación de un sistema fotovoltaico con control angular automatizado.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La presente investigación utilizó una serie de técnicas que permitieron obtener la información necesaria para alcanzar los objetivos propuestos en el presente estudio. Las técnicas e instrumentos que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la tabla 2:

Tabla 1

Técnicas e instrumentos de investigación

Técnica	Instrumento	Validación
Observación	Guía de observación	Por expertos
Análisis documental	Ficha de registro	Por especialistas

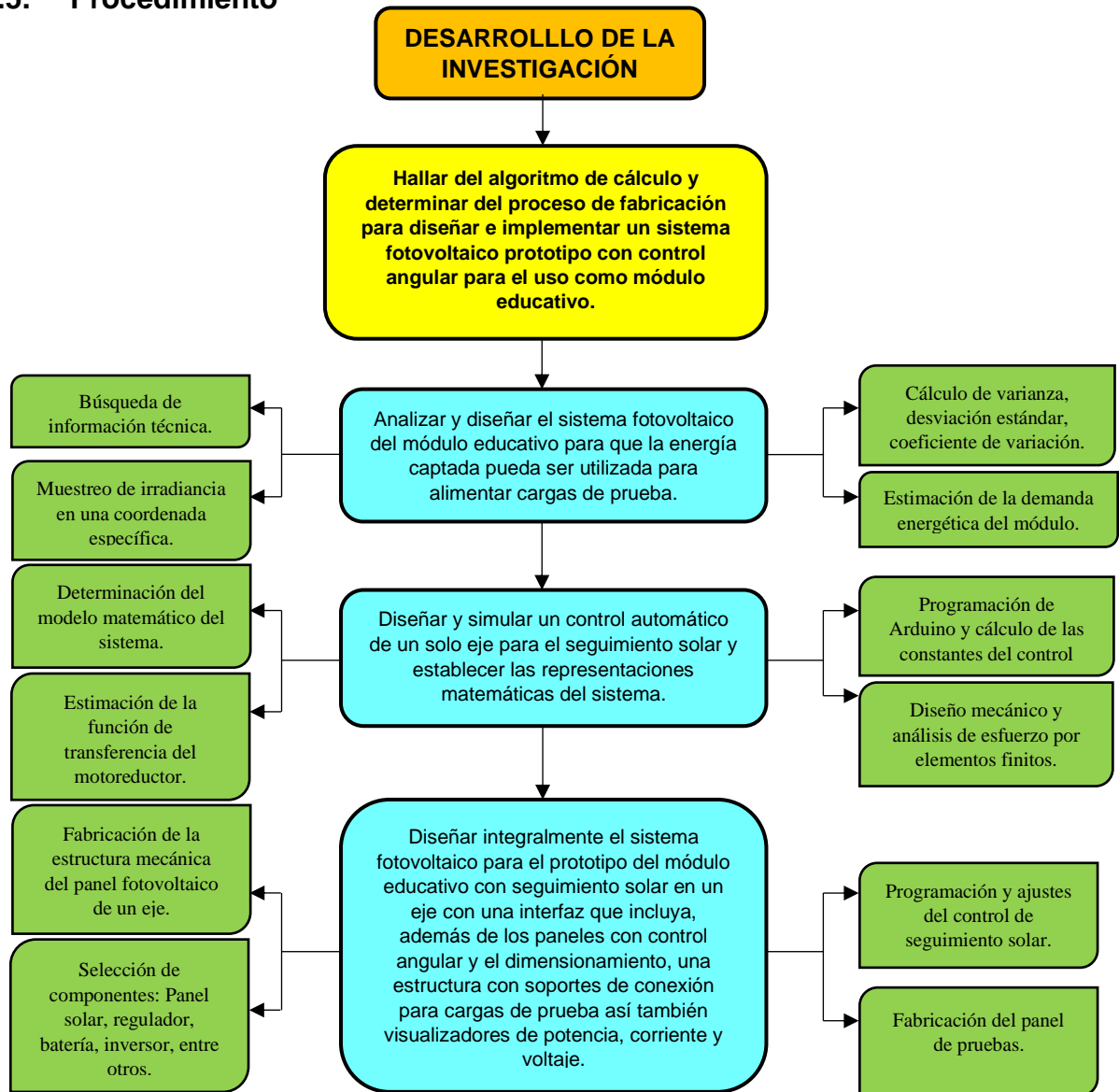
Nota: Las técnicas y su instrumentalización obedece a la tipología propuesta por (Ñaupas et al., 2018, p. 274)

La técnica de la observación permitió evaluar la funcionalidad del prototipo, levantamiento de datos, entre otros indicadores que permitirán evaluar la eficiencia del diseño que se desea desarrollar. Esta técnica fue instrumentalizada mediante una guía de observación, la cual permitió evaluar aspectos relevantes del diseño, tales como el nivel de capacidad, operatividad y la funcionalidad del sistema que se desea diseñar, evaluando dimensiones necesarias, potencia, análisis de esfuerzos mecánicos, grado de orientación, entre otros indicadores técnicos.

En tanto, la técnica de análisis documental permitió analizar y registrar en la ficha de registro, diversa información técnica y especializada proveniente de fuentes bibliográficas de autores que gozan de reconocida trayectoria, a fin de que la información recogida se encuentre debidamente validada y cuente con el respaldo académico necesario para un trabajo de investigación. El análisis

documental fue instrumentalizado mediante una ficha de registro, en la cual se consignaron todos aquellos datos técnicos que fueron considerados en el prototipo diseñado.

3.5. Procedimiento



Fuente: Elaboración propia

3.6. Método de análisis de datos

El análisis de datos del presente trabajo de investigación es realizado considerando las medidas de tendencia central aplicados a los datos obtenidos del proceso de muestreo y de la información de históricos meteorológicos, así también se usaron las investigaciones citadas.

3.7. Aspectos éticos

Con respecto al aspecto ético que exige la Universidad César Vallejo en el desarrollo de trabajos de investigación, la presente investigación reúne las características y lineamientos de un estudio original, no presentando plagio de ningún tipo, puesto que toda la información que se encuentra consignada dentro del trabajo de investigación estuvo debidamente referenciada con publicaciones de autores que gozan de reconocimiento y prestigio en la materia de estudio. Dichas referencias cumplen con las normas, lineamientos y directrices que establecen las Normas APA en su 7ma edición.

IV. RESULTADOS

4.1. Radiación solar

El primer paso para obtener el dimensionamiento de los paneles solares es calcular el dato de radiación, el cual es tomado desde la base de datos de la Nasa meteorology. Las medidas de radiación fueron tomadas considerando la latitud y longitud de -11.9708 y -76.9904, respectivamente.

Tabla 2. Radiación en el distrito de San Juan de Lurigancho Mayo 2023, Solarimetro SM206 y Nasa Power Larc

Fuente: Nasa Meterology y elaboración propia

	Solarimetro SM206 (Vs)	Nasa Power Larc (Vn)	Porcentaje de error
Mayo 2023	Radiación kWh/(m2.día)	Radiación kWh/(m2.día)	$((Vs - Vn)/Vs)*100\%$
1	5.23	5.15	1.53%
2	6.24	6.13	1.76%
3	5.29	5.32	0.57%
4	5.21	5.11	1.92%
5	5.43	5.47	0.74%
6	4.59	4.69	2.18%
7	5.03	4.97	1.19%
8	4.96	5.14	3.63%
9	5.87	5.65	3.75%
10	5.48	5.53	0.91%
11	5.85	5.66	3.25%

12	5.44	5.364	1.40%
13	5.23	5.27	0.76%
14	6.24	6.29	0.80%
15	5.29	5.12	3.21%
16	5.21	5.45	4.61%
17	5.43	5.25	3.31%
18	4.59	4.64	1.09%
19	5.03	5.17	2.78%
20	4.96	5.05	1.81%
21	5.87	5.91	0.68%
22	5.48	5.69	3.83%
23	5.85	5.72	2.22%
24	5.44	5.28	2.94%
25	5.23	5.39	3.06%
26	6.24	5.97	4.33%
27	5.29	5.36	1.32%
28	5.21	5.15	1.15%
29	5.43	5.37	1.10%
30	4.59	4.68	1.96%
			2.13%

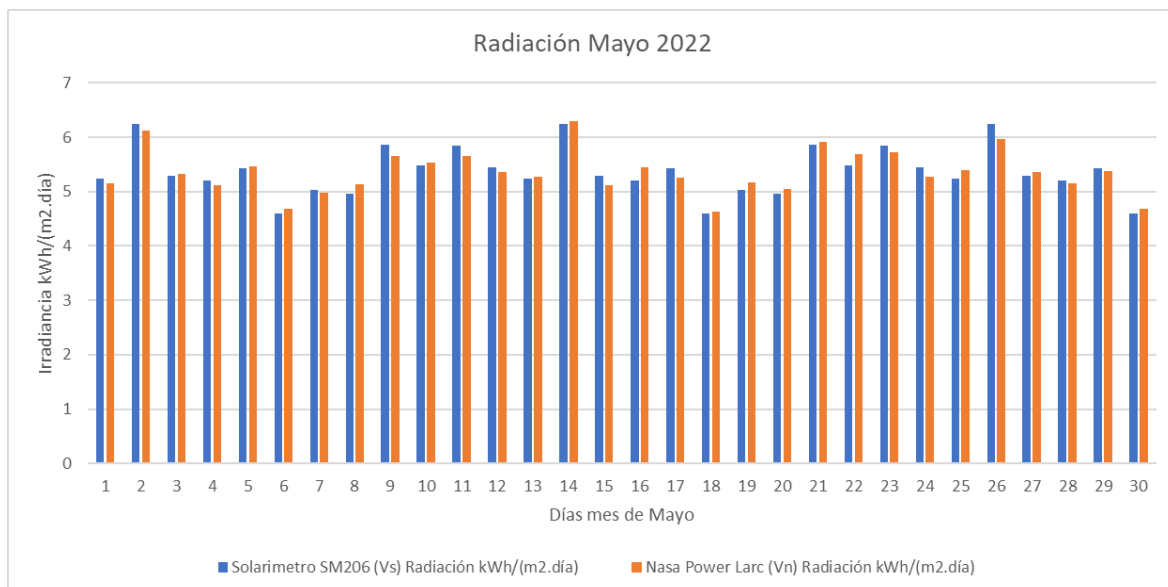


Figura 3. Radiación en el distrito de San Juan de Lurigancho Mayo 2023, Solarimetro SM206 y Nasa Power Larc. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Varianza, desviación estándar y Coeficiente de variación, de la muestra del Solarimetro SM206 y Nasa Power Larc. Fuente: Elaboración propia

	Solarimetro SM206	Nasa Power Lar
Varianza	0.20	0.16
Desv. Estándar	0.45	0.40
Coef. de Variación	0.08	0.07

En los resultados obtenidos, se puede interpretar que los datos de la muestra no están muy dispersos, es decir ambas muestras tienen datos muy cercanos entre ellos. Así también, en el coeficiente de variación se observa que la radiación que conforma la muestra del solarímetro y de la nasa, presenta una variabilidad muy baja. Por consiguiente, ya que los datos no difieren mucho entre ellos, se tomarán en cuenta los datos de la Nasa meteorology que corresponden al promedio diario-mensual del año 2021 en el distrito de San Juan de Lurigancho, ubicado al este de la capital Lima. Lo mismo que se presenta en la tabla número tres.

Tabla 4. Varianza, desviación estándar y Coeficiente de variación, de la muestra del Solarímetro SM206 y Nasa Power Lar. Fuente: Elaboración propia.

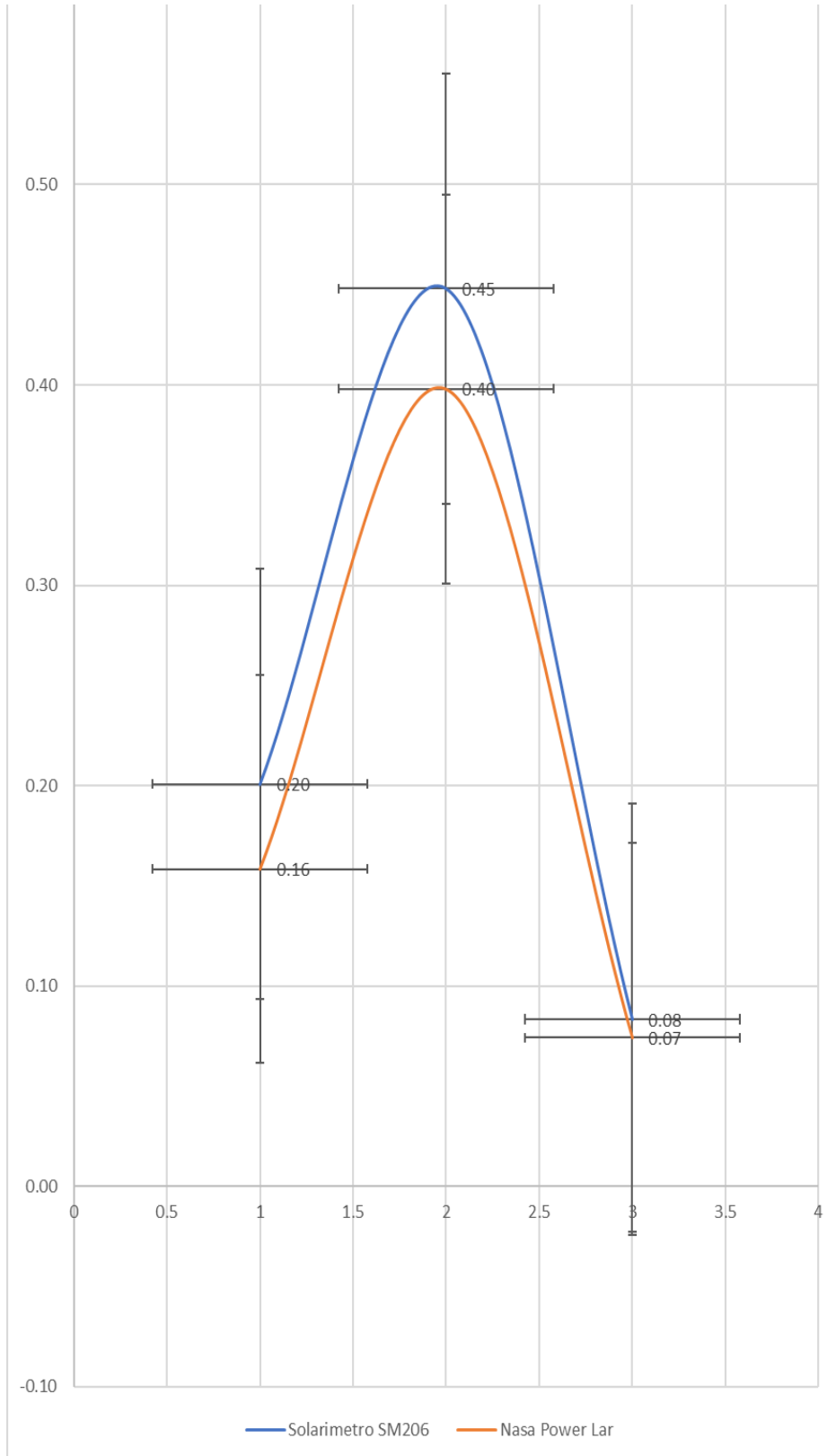


Tabla 5. Irradiación en el distrito de San Juan de Lurigancho. Fuente: Elaboración propia.

Mes (2021)	Radicación[kWh/(m ² .día)]
Enero	4.19
Febrero	5.60
Marzo	4.48
Abril	5.24
Mayo	5.46
Junio	5.31
Julio	5.74
Agosto	6.08
Setiembre	5.72
Octubre	6.00
Noviembre	5.55
Diciembre	5.37

Para obtener los datos de la nasa fue necesario ingresar al siguiente link <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> y rellenar los datos según las coordenadas de latitud y longitud que se quiera tomar la información.

Para el caso de estudio se elegio los valores del año 2021, el cual fueron exportados en un formato CSV, este archivo es compatible con Excel, lo cual facilitó realizar las gráficas correspondientes.

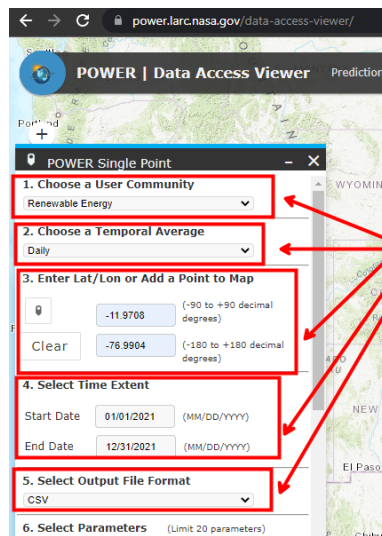


Figura 4. Base de datos meteorológicas de la Nasa. Fuente Nasa Meteorology

Teniendo en cuenta el dato más crítico se elige el menor valor de irradiación para que el panel solar pueda suministrar la energía necesaria.

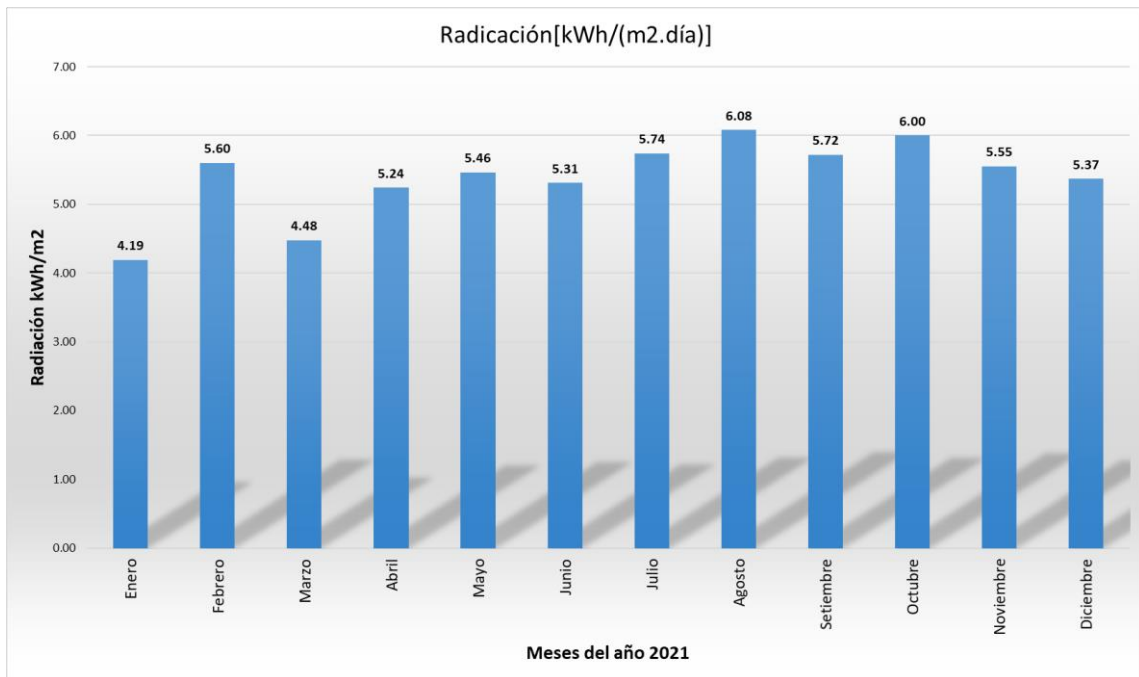


Figura 5. Irradiación en el año 2021. Fuente: Nasa Meterology

En el gráfico número cuatro, se aprecia que el valor de irradiación mínima es 4.19 kW.h/m2.día, la máxima es 6.08 kW.h/m2.día y el promedio 5.40 kW.h/m2.día

4.2. Bosquejo del sistema fotovoltaico prototipo con control angular

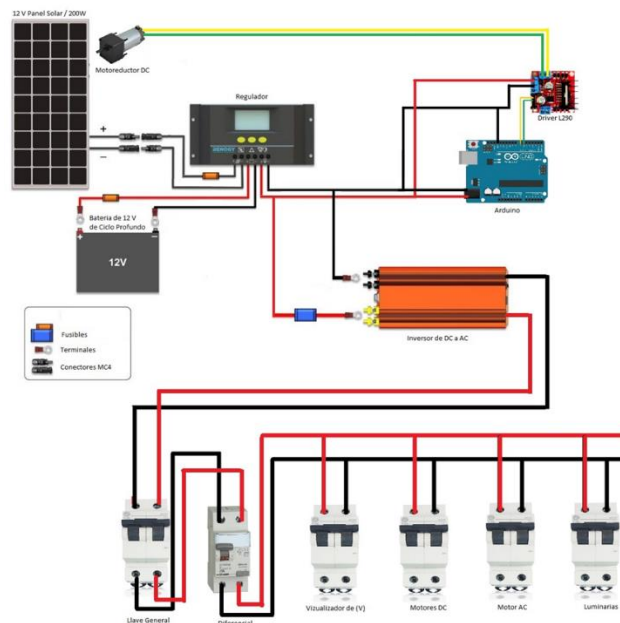


Figura 6. Diagrama eléctrico del prototipo. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Demanda energética

La demanda energética del módulo educativo está compuesta de cargas resistivas e inductivas en su gran mayoría. El módulo cuenta con motores de corriente continua para hacer pruebas de funcionamiento como arranques, paradas y cambios de velocidades. Las cargas resistivas son usadas para disminuir o aumentar la energía consumida en función de una perilla selectora, esto permite al estudiante poder ver la corriente y voltaje en la pantalla visualizadora.

Tabla 6. Demanda energética del módulo educativo. Fuente: Elaboración propia.

ítem	Descripción	Cantidad	Potencia (watts)	tiempo de uso (horas)	Energía (w.h)
1	Motor AC (0.5hp)	1	373	1	373
2	Motor DC	2	5.75	4	46
3	Lámparas led	3	9	3	81
4	Visualizador	1	2	5	10
5	Set de cargas resistivas	2	10	3	65
				Total	585

4.4. Dimensionamiento del panel solar fotovoltaico

El dimensionamiento del panel solar está en función de la radiación solar, el factor de seguridad y la energía consumida. Esto puede ser representado en la siguiente fórmula:

$$P_{G,nom} = \frac{F_{SG}L_{dm}}{(G_{dm}(\beta)/I_{SCT})} \quad (5)$$

Donde:

$P_{G,nom}$: Potencia nominal del generador fotovoltaico

$G_{dm}(\beta)$: Radiación del mes que se extrae los datos.

F_{SG} : Factor de seguridad

L_{dm} : Consumo del módulo educativo

I_{SCT} : Irradiancia en condiciones estándares de medida. Tiene un valor de 1000 w/m²

Considerando un factor de seguridad del 1.3 y reemplazando valores se obtiene:

$$P_{G,nom} = \frac{1.3 * 585}{4190/1000}$$

$$P_{G,nom} = 181.50 \text{ watts}$$

Entonces el panel para alimentar las cargas puede ser de 200 watts, 12 voltios, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 7. Especificaciones técnicas del panel solar seleccionado. Elaboración propia.

ítem	Descripción	Característica
1	Código de producto	EGE-200P-72
2	Tipo	Policristalino
3	Peso	15.0 kg
4	Medidas	1320*992*35mm
5	Máxima potencia	200w
6	voltaje en Pmax (Vmp)	19.14 v
7	Corriente en Pmax (Imp)	10.45 A
8	Voltaje en circuito abierto (V)	23.31 V
9	Corriente en cortocircuito (A)	11.41 A
10	Coeficiente de temperatura	-0.396%/°C
11	Eficiencia de celdas	15.27%
12	Voltaje máximo del sistema	1500 V
13	Tolerancia de la potencia de salida	0~+5w

4.4. Dimensionamiento del acumulador de energía.

El dimensionamiento del acumulador debe partir de la premisa que no se debe descargar la batería más del 80%. Descargar la batería en su totalidad implica que la vida útil del sistema se reduzca considerablemente. Para efectos del diseño se considera como descarga profunda el 80% de la capacidad de la batería.

De la tabla 6 se tuvo el consumo del sistema, con ese dato es posible dimensionar el acumulador de energía:

$$C_{nominall} = \frac{L_{dm} F_{SB}}{V * PD_{max}} (A. h)$$

Dónde:

L_{dm} : Consumo de la instalación

F_{SB} : Días de autonomía

PD_{max} : Profundidad de descarga

V : Voltios del sistema

Entonces:

$$C_{nominal} = \frac{585}{12 * 0.8}$$

$$C_{nominal} = 60Ah$$

La batería tiene una capacidad de 12 voltios 60Ah amperios para el sistema dimensionado.

ítem	Descripción	Característica
1	Código de producto	6FM60D-X
2	Tipo	Recargable
3	Peso	24.0 kg
4	Medidas	258*166*206mm
5	Voltaje Nominal	12 v
6	Capacidad Nominal	60 Ah
7	Temperatura de resistencia	77°F

Tabla 8. Especificaciones técnicas del acumulador de energía. Elaboración propia.

4.5. Dimensionamiento de los cables del panel solar al regulador

Para realizar el cálculo se debe considerar las normas técnicas de los paneles solares y la potencia máxima del panel según la hoja de datos técnicos.

La potencia del panel solar es 200w entonces:

$$I = \frac{P}{V} \quad (7)$$

$$I = \frac{200}{12}$$

$$I = 16.67A$$

Según la norma técnica peruana C-CE-6 la caída de tensión no debe superar el 4% ante variaciones de carga. Esto significa que en los 12 voltios de trabajo como máximo debe haber una caída de 0.48 voltios. Los valores de resistencia del cable pueden ser calculados siguiendo la ley de ohm.

$$R = \frac{V}{I} \quad (8)$$

$$R = 0.029$$

La longitud del cable debe ser la suma de la longitud del cable positivo y negativo, es decir, 2 metros. Entonces, la sección mínima que debería tener el cable puede ser calculado considerando la resistividad del cobre, como se muestra a continuación:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\rightarrow S = \rho \frac{L}{R} \quad (9)$$

Reemplazando valores:

$$S = \frac{0.017 * 2}{0.029}$$

$$S = 1.172 \text{mm}^2$$

4.6. Dimensionado del cable del inversor a las cargas

Considerando las perdidas máximas de 4% y una salida del inversor de 220 V, se puede calcular la caída de tensión en el cable de la siguiente manera:

$$V_{\text{cable}} = \frac{4 * 220}{100}$$

$$V_{\text{cable}} = 8.8 \text{v}$$

La corriente que circula por el cable queda expresada:

$$I = \frac{P}{V} \quad (10)$$

$$I = \frac{585}{220}$$

$$I = 2.66 \text{A}$$

El valor de la resistencia del cable se obtiene aplicando la ley de ohm:

$$R = \frac{V}{I} \quad (11)$$

$$R = \frac{8.8}{2.66}$$

$$R = 3.31$$

La longitud del cable se debe considerar el doble ya que debe ser calculada sumando L1 y L2, es decir, 20 metros. El coeficiente de resistividad será para el cobre:

$$S = \frac{\rho L}{R} \quad (12)$$

$$S = \frac{0.017 * 20}{3.31}$$

$$S = 0.103 \text{ mm}^2$$

4.7. Sistema de control

El modelo matemático es necesario para realizar un sistema de control. El modelo se compone de una parte mecánica y otra eléctrica. El motor eléctrico es el actuador que proporciona el movimiento al eje de rotación del panel solar. El modelo matemático se puede representar como se muestra a continuación:

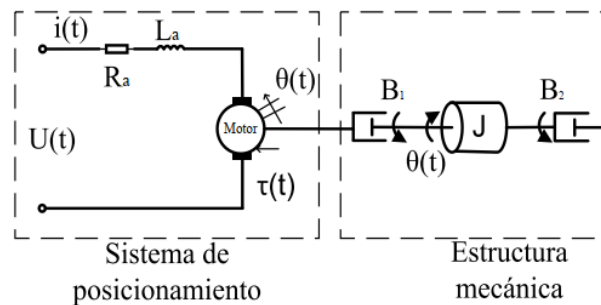


Figura 7. Diagrama de un motor con carga J y fricción B. fuente: Ogata

Donde J es el momento de inercia de la estructura del panel solar. El cálculo del momento de inercia del panel solar viene dada por la ecuación:

$$J = \frac{M_a}{b} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} r^2 dr \quad (13)$$

Siendo el gráfico del panel solar con las dimensiones correspondientes:

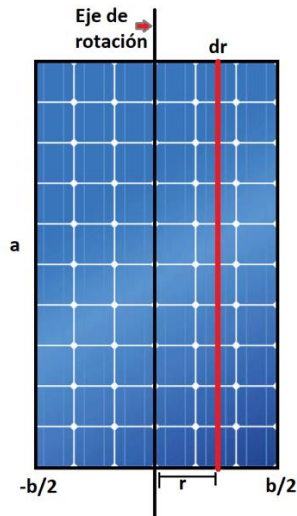


Figura 8. Parámetros del momento de inercia de un panel fotovoltaico. Fuente: Elaboración propia

El control del motor empieza con la representación matemática del motor en espacio de estados. Esta tarea puede ser llevada a cabo por medio de datos teóricos especificados en la hoja técnica del motor o por medio de datos extraídos empíricamente. La extracción de datos empíricos puede ser tomando nota de cada una de las características del motor con ayuda de instrumentos de medición o por medio de un programa computacional que permita realizar la identificación del sistema con los valores de entrada y respuesta de éste mismo.

A continuación, se muestra la representación de espacio de estados la cual ha sido considerada para valores de posición.

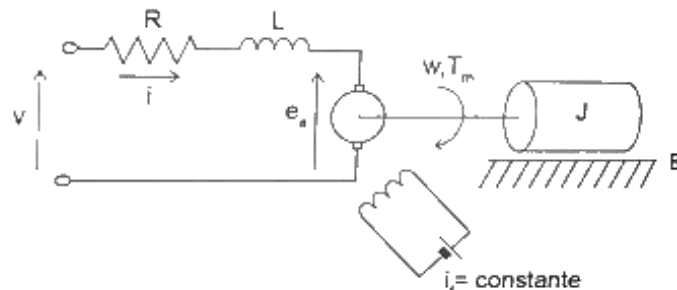


Figura 9. Diagrama de un motor eléctrico de corriente continua. Fuente: Ogata

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta}$$

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki$$

$$x_1 = i \quad \dot{x}_1 = \dot{i}$$

$$x_2 = \theta \quad \dot{x}_2 = \dot{\theta}$$

$$\dot{x}_3 = \frac{k}{J} x_1 - \frac{b}{J} x_3$$

$$\dot{x}_1 = -\frac{R}{L} x_1 - \frac{k}{L} x_3 + \frac{1}{L} V$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & 0 & -\frac{K}{L} \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{K}{J} & 0 & -\frac{b}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Obteniendo la presentación en espacio de estados del sistema, es posible reemplazar los datos del motor y el momento de inercial de la parte mecánica del sistema. El sistema quedaría representado y listo para determinar, mediante simulación, las características del sistema en estado transitorio y en estado estable.

Los datos extraídos empíricamente, a través del desarrollo de un programa computacional, es una forma versátil de obtener los parámetros de un sistema. Es posible obtener los parámetros de cualquier motor, incluso de los que no se cuenta con una hoja técnica ya que el programa identifica el sistema a través de la respuesta ante una entrada conocida. El software utilizado para poder realizar la extracción de los datos es Matlab y el IDE de Arduino.

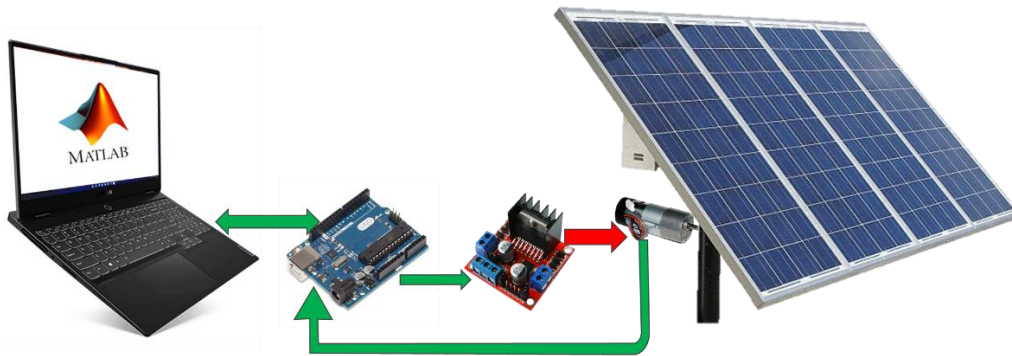


Figura 10. Esquema de adquisición de datos entre Matlab y Arduino. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta los resultados de someter a un motor DC sin carga para obtener sus parámetros característicos.

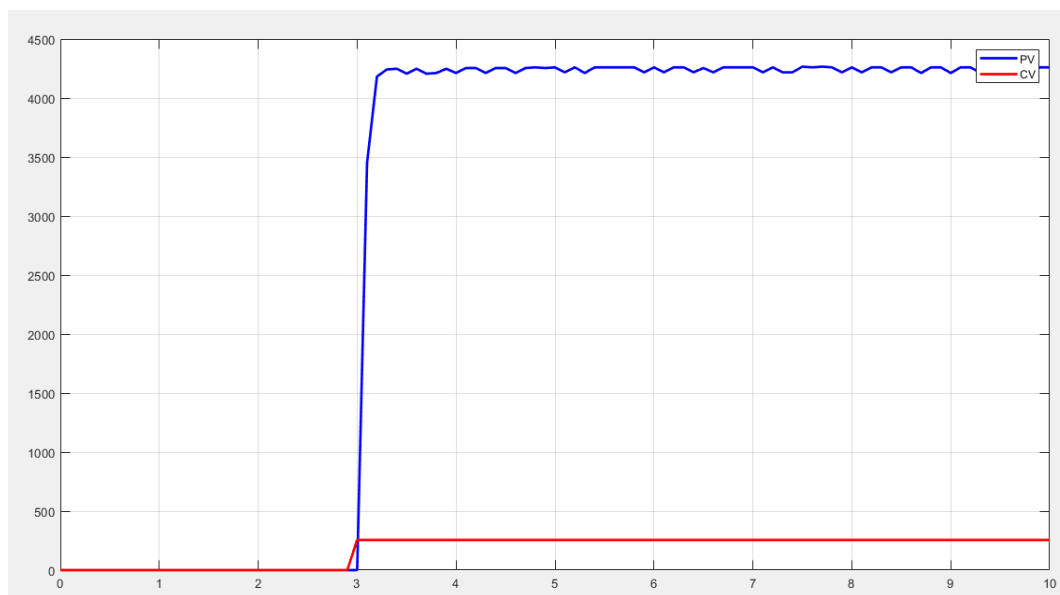


Figura 11. Entrada y respuesta a un motor sin carga. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que ante variable de control CV de 255 (PWM 100%) el sistema responde con una variable de proceso de 4250 rpm aproximadamente. Esta información es útil para poder establecer una relación entrada-salida y obtener los valores de la función de transferencia.

La toolbox del software Matlab llamada System Identification es usada para importar los datos extraídos de la figura 12. Por medio de un sistema de identificación se puede establecer los valores de la función de transferencia como

se muestra en la figura 13. Donde la información extraída está en “mydata” y la función estimada es “P2” y “P1D”.

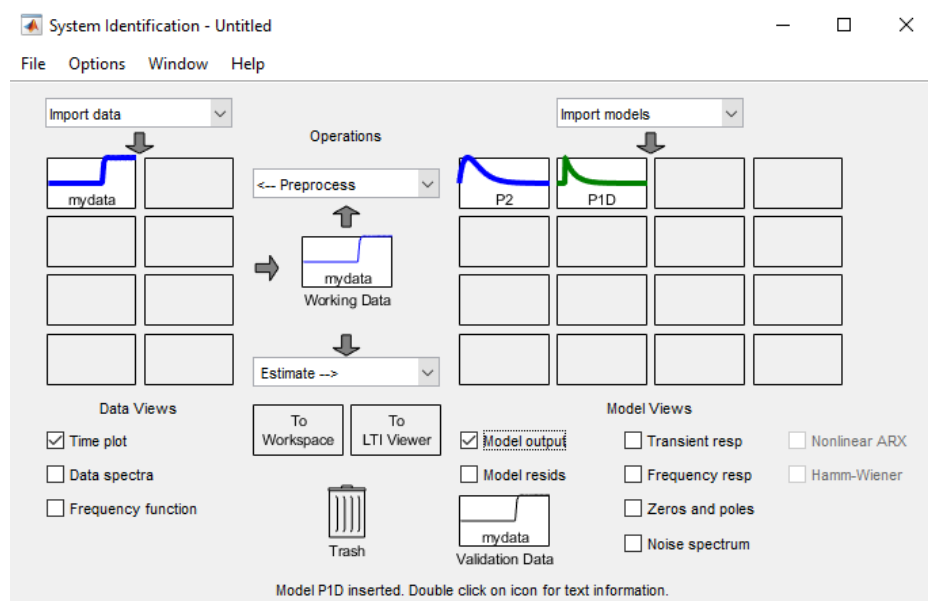


Figura 12. Toolbox system Identification en Matlab. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura 13 que se ha realizado dos identificaciones del sistema. La primera identificación tiene una aproximación de 99.11% mientras que la segunda un 92.86%. La primera identificación fue realizada considerando un sistema de un solo polo con un tiempo de retardo y la segunda aproximación fue realizada considerando dos polos y sin tiempo de retardo, además, se sabe que el sistema es de segundo orden, es decir, tiene dos polos, sin embargo, la aproximación más cercana es la de primer orden con tiempo de retardo. Ambas aproximaciones se pueden considerar altas ya que superan el 90% con lo cual se va a presentar una incertidumbre baja.

La aproximación es alta cuando se conoce las expresiones matemáticas que gobiernan la dinámica del sistema, sin embargo, es posible realizar ajustes con modelos más sencillos para alcanzar aproximaciones aún mejores. Este es el caso de una aproximación que se conoce a priori la cantidad de polos que tiene, ya que, su ecuación característica lo indica. El sistema de un orden menor implica que el computo realizado por los microcontroladores será de menor complejidad, pero por otro lado se debe tener en cuenta que eso implica que hay parte de la dinámica que

ha sido omitida. Toda aproximación tiene sus pros y contras, como se ha podido expresar en las líneas anteriores.

En la siguiente figura se muestra la gráfica del sistema ante una entrada de PWM de 100%. Superpuesta a ella están las gráficas estimadas con el toolbox System Identification. A la derecha está el porcentaje de aproximación.

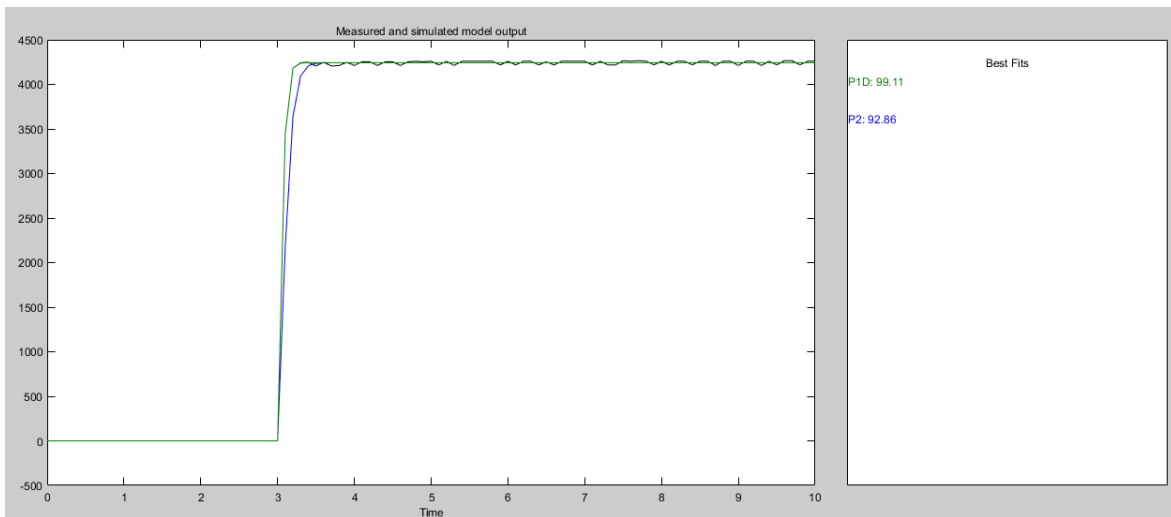


Figura 13. Identificación del sistema con la toolbox de Matlab. Fuente: Elaboración propia.

El software Matlab con su toolbox System Identification ofrece la posibilidad de configurar, a priori de la aproximación, evaluar el tipo de sistema que se quiere identificar como se muestra en la figura 14.

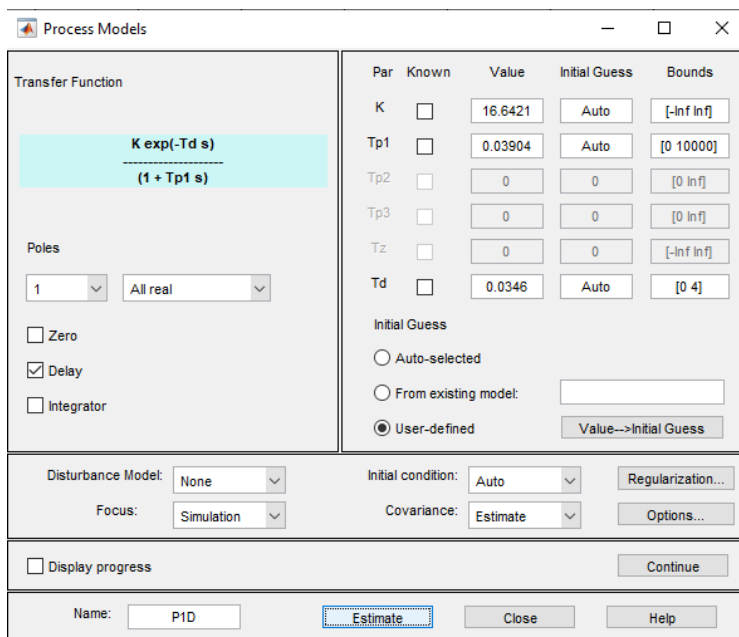


Figura 14. sistema con un polo y tiempo de retardo. Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se muestra la evaluación para un sistema de un polo con tiempo de retardo. En la figura 15 se muestra la evaluación para un sistema de dos polos sin tiempo de retardo.

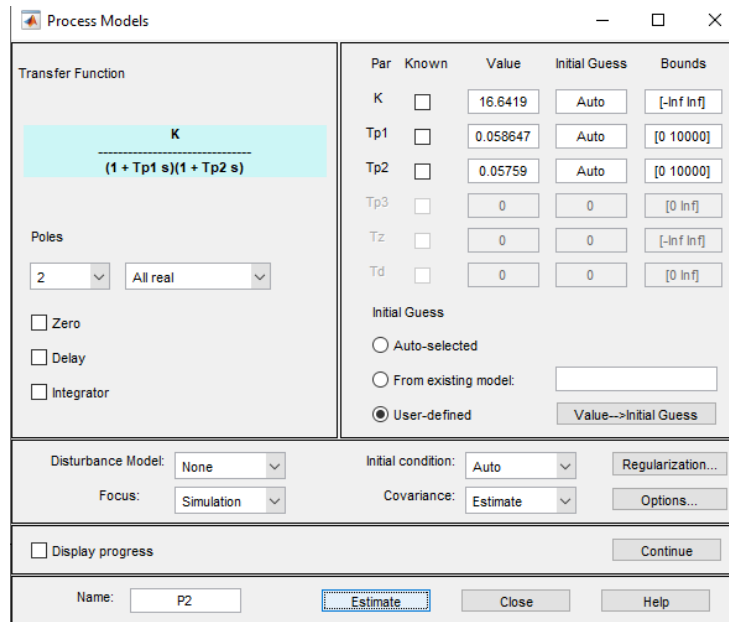


Figura 15. Sistema con dos polos y sin tiempo de retardo. Fuente: Elaboración propia

Existe una gran cantidad de tipos de control automático, siendo la más conocida el control PID. En el software Matlab es posible realizar un controlador PID luego de tener la función de transferencia tal como se muestra en la figura 16. El controlador PID es desarrollado en la herramienta PID Tuner, como se muestra en la figura 17.

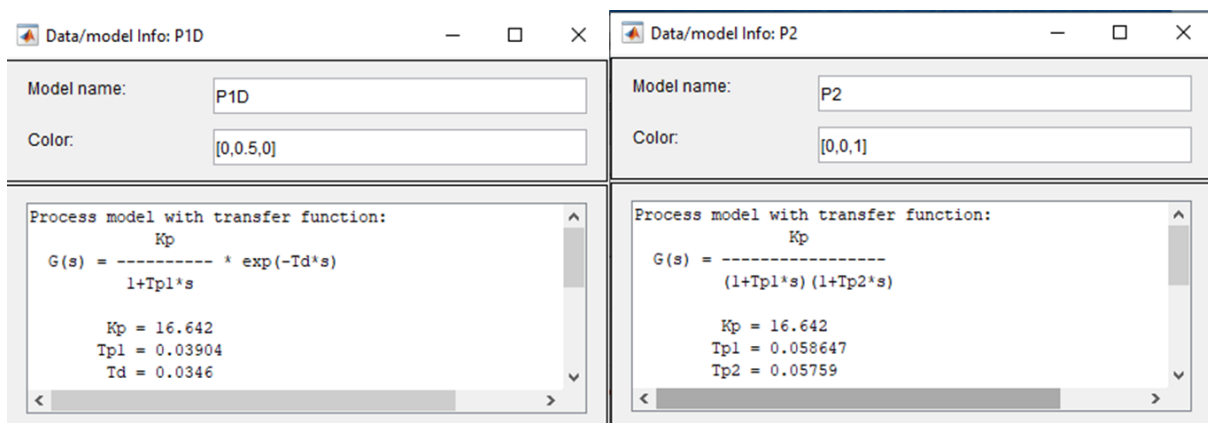


Figura 16. (Izquierda a derecha). Función de transferencia para un sistema de primer y segundo orden. Fuente: Elaboración propia

El control PID es diseñado en base a las características del sistema seguidor fotovoltaico. El seguidor fotovoltaico es un sistema que se mueve lentamente por ello se pueden considerar tiempos de establecimientos mayores, para así evitar movimientos con un sobre impulso porcentual alto.

En la imagen siguiente se muestra la gráfica del controlador PID ante una entrada escalón unitario del sistema de primer orden. Se aprecia un tiempo de establecimiento cerca a 1.4 segundos y no existe un sobreimpulso porcentual, es decir, la gráfica llega a la sintonización suavemente.

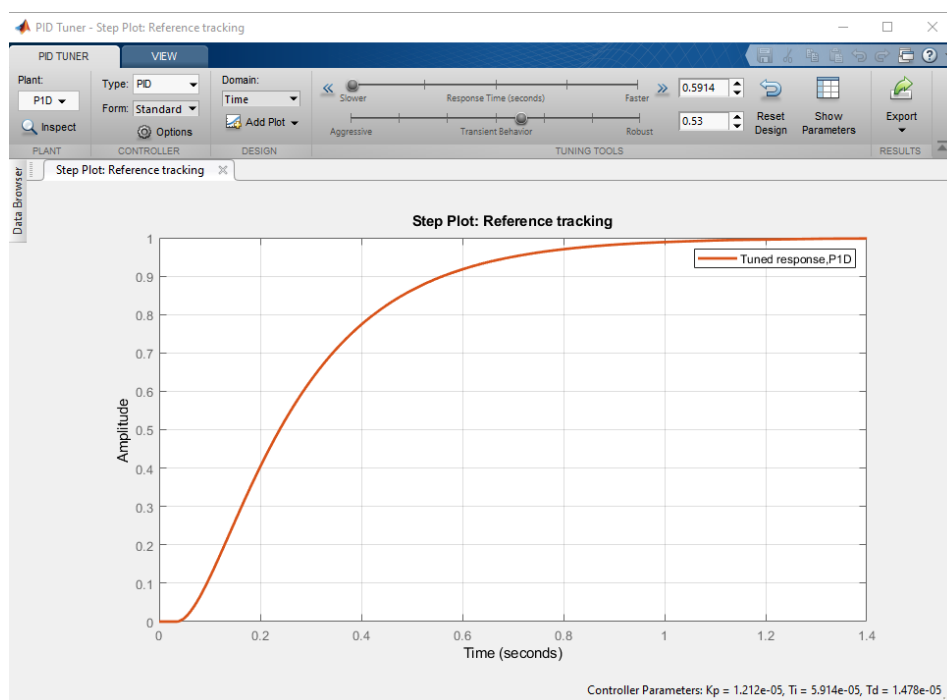


Figura 17. Control PID para un sistema de primer orden. Fuente: Elaboración propia

Los parámetros del controlador quedan determinados como se muestra en la figura 18. Los valores que se muestran son la constante proporcional K_p , la constante integral K_i y la constante de derivación T_d . Nótese que estas constantes son para un sistema de primer orden.

	Tuned
Kp	1.2122e-05
Ti	5.9137e-05
Td	1.4784e-05
N	n/a

Figura 18. Parámetros del controlador PID para un sistema de primer orden Fuente: Elaboración propia

La respuesta de un sistema de segundo orden con controlador PID se muestra en la figura 19. Se aprecia que el tiempo de establecimiento es cerca de tres segundos, al igual que el control para el sistema de primer orden, en el sistema de segundo orden no se presenta sobre impulso porcentual.

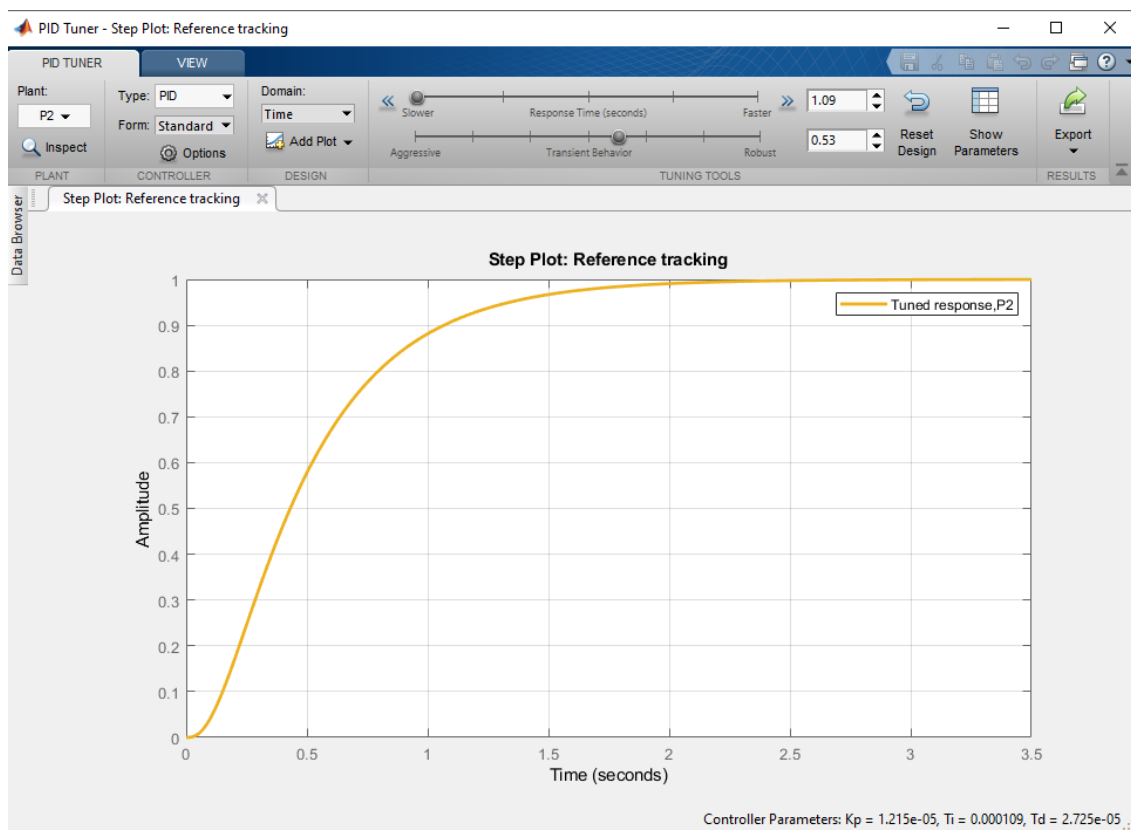
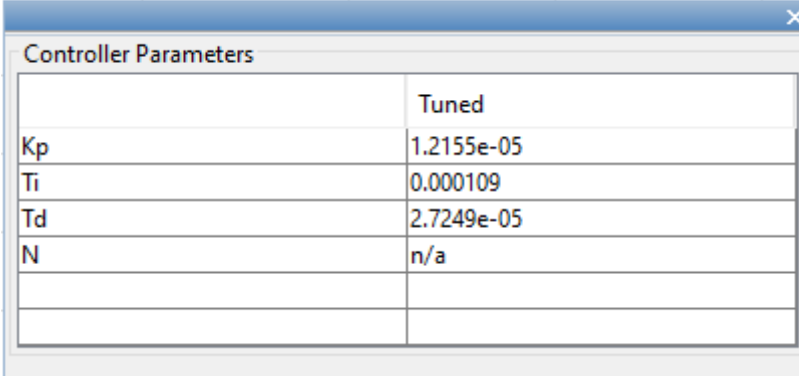


Figura 19. Controlador PID para un sistema de segundo orden. Fuente: Elaboración propia

Los parámetros para el control PID en el sistema de segundo orden están dados en la figura 18.



	Tuned
Kp	1.2155e-05
Ti	0.000109
Td	2.7249e-05
N	n/a

Figura 20. Parámetros del controlador PID para un sistema de segundo orden. Fuente: Elaboración propia

El código para la programación del microcontrolador se realizó en el IDE de Arduino con la placa Arduino UNO. Este código se realiza con el fin de comunicar el Arduino UNO con el software Matlab y extraer los datos del sistema, es decir, datos del motor DC. A continuación, se presenta el código de programación:

```

const int IN1=7;
const int IN2=8;
const int Conta=2;
const int enab=6;

unsigned long tiempoAnt=0, tiempoMues=100; //datos de tiempo par
artificio
const float resoluc=100; //resolucion del encoder
volatile int pulsos=0; //conteo de pulsos del encoder
int cValue=0; //variable de control. PWM del arduino
float pValue=0; // variable de proceso

String dato=""; //variable de la comunicaci3n
bool dataComplete=false; //variable de la comunicaci3n
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Conta, INPUT); //declaraci3n de una entrada
  pinMode(IN1, OUTPUT); //declaraci3n de una salida
  pinMode(IN2, OUTPUT); //declaraci3n de una salida

  digitalWrite(IN1, HIGH); //inializaci3n de la salida
  digitalWrite(IN2, LOW); //para que vaya en un sentido de giro
  attachInterrupt(0, counter, RISING); //declaraci3n de la
  //funcion de interrupcion
  //*****
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if(dataComplete){
    cValue=dato.toInt();
    Serial.println(pValue);
    dato="";
    dataComplete=false;
  }

  if(millis()-tiempoAnt>=tiempoMues){
    noInterrupts();
    pValue= pulsos*60000/((millis()-tiempoAnt)*resoluc);
    tiempoAnt=millis();
    pulsos=0;
    analogWrite(enab, cValue);
    interrupts();
  }
}

void counter(){
  pulsos++;
}

void serialEvent(){
  while(Serial.available()){
    char inChar=(char)Serial.read();
    dato+=inChar;
    if(inChar=='\n'){
      dataComplete=true;
    }
  }
}
}

```

Figura 21. C3digo Arduino. Fuente: Elaboraci3n propia

A continuación, se presenta la programación en Matlab, el cual hace un trabajo en conjunto con el Arduino UNO para extraer los datos de la planta.

```

clear %limpia variables
close all %cierra todas las ventanas
clc %limpia el command Windows
tf=10;%tiempo final
ts=0.1;%tiempo de muestreo
t=0:ts:tf;%vector con el tiempo para el ploteo

Q=length(t);%Longitud de todo el tiempo

CV=zeros(1,Q);%vector para almacenar el CV, inicia en 0
PV=zeros(1,Q);%vector para almacenar el PV, inicia en 0

scene=figure;%se crea una figura para realizar la graficas de PV y CV
dimens=get(0,'ScreenSize');%obtiene las dimensiones de la pantalla
set(scene,'position',dimens);%establece las características de la presentación grafica
plot(t,PV,'b','LineWidth',2);hold on %grafica la variable PV con ancho de línea 2 y color azul
plot(t,CV,'r','LineWidth',2);legend('PV','CV');grid on;

COM='COM4'; %definición del puerto com para la comunicación

delete(instrfind('Port'),(COM));% borra el COM3 para luego establecerlo
arduinoSerial=serial(COM,'Baudrate',9600); %creación del objeto para la comunicación
fopen(arduinoSerial); %inicia el objeto para la comunicación

pause(3); %establece una pausa de 3 segundos para esperar la correcta comunicación

for k=1:Q
    tic %inicia el cronómetro
    if t(k)>=3 %si se cumple la condición se establece el CV a 255 del pwm
        CV(k)=255;
    end
    fprintf(arduinoSerial,'%s\n',num2str(CV(k)),'sync');%establece el formato para el envío por la comunicación
    PV(k)=fscanf(arduinoSerial,'%f\n');%lectura de datos desde el arduino
    clf %borra la figura
    plot(t(1:k),PV(1:k),'b','LineWidth',2);hold on %realiza el ploteo de la señal
    plot(t(1:k),CV(1:k),'r','LineWidth',2);legend('PV','CV');grid on;
    drawnow %actualiza la imagen de las señales y realiza una animación de movimiento

    while toc<ts %finaliza el cronómetro hasta que se cumpla la condición
        end
end

fprintf(arduinoSerial,'%s\n',0,'sync');%Establece la comunicación y envía el valor 0 al pwm
fclose(arduinoSerial);%cierra la comunicación con el arduino

save('Data','CV','PV'); %guarda los datos en el archivo data

```

Figura 22. Código en Matlab. Fuente: Elaboración propia

4.8. Diseño de la estructura del módulo integral

La estructura mecánica comprende el soporte del panel solar, dicha estructura ha sido provista de un eje de rotación para darle movilidad al panel solar. La estructura ha sido diseñada en el software CAD SolidWorks y se ha considerado para que sea una estructura fácilmente desmontable, esto último es porque se piensa que el panel puede ser empaquetado y mover a diferentes puntos para realizar muestras de la energía solar.

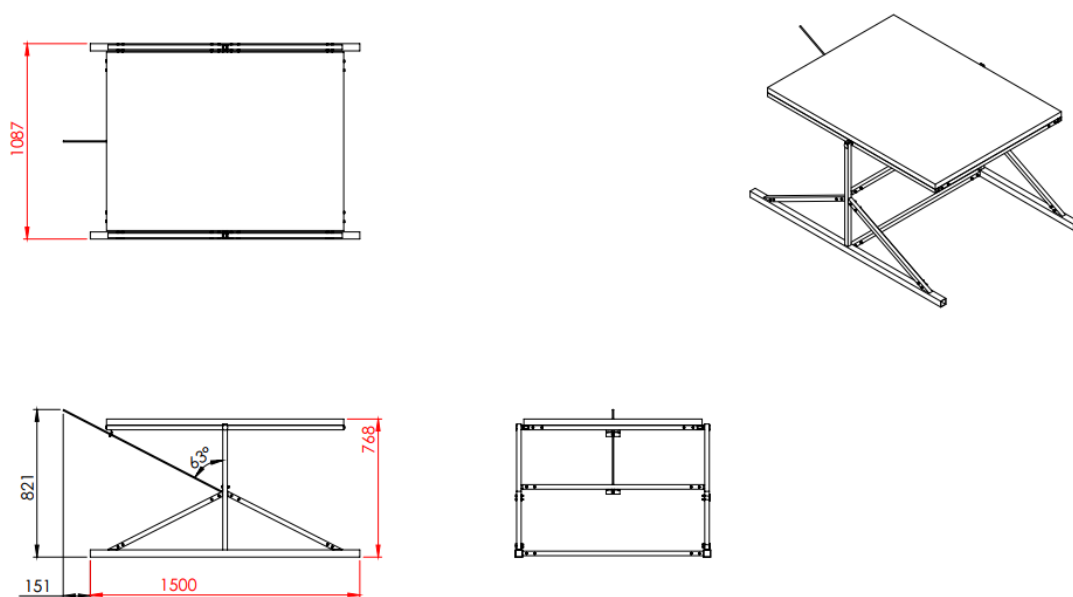


Figura 23.. Estructura diseñada en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

El sistema mecánico tuvo un análisis por elementos finitos, quiere decir que se hizo una simulación para determinar las deformaciones producidas por las cargas externas e internas que se presentan en la estructura del panel solar y así comprobar si los valores estimados, en el diseño, cumplen con las características necesarias.

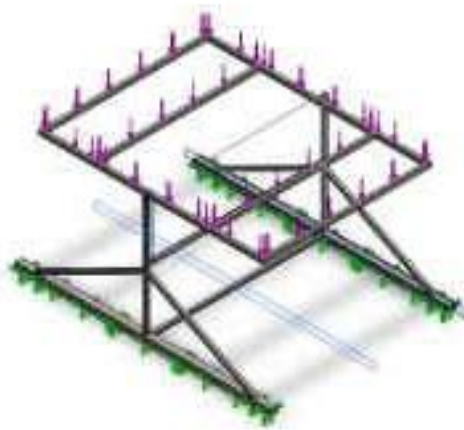


Figura 24. Análisis de elementos finitos en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia

A su vez se realizó un análisis de tensiones por medio del software SolidWorks, para ellos se define el material y perfil del diseño en el SolidWorks. El software da como dato el coeficiente elástico del material el cual $2.5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ y su límite máximo es $7.7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

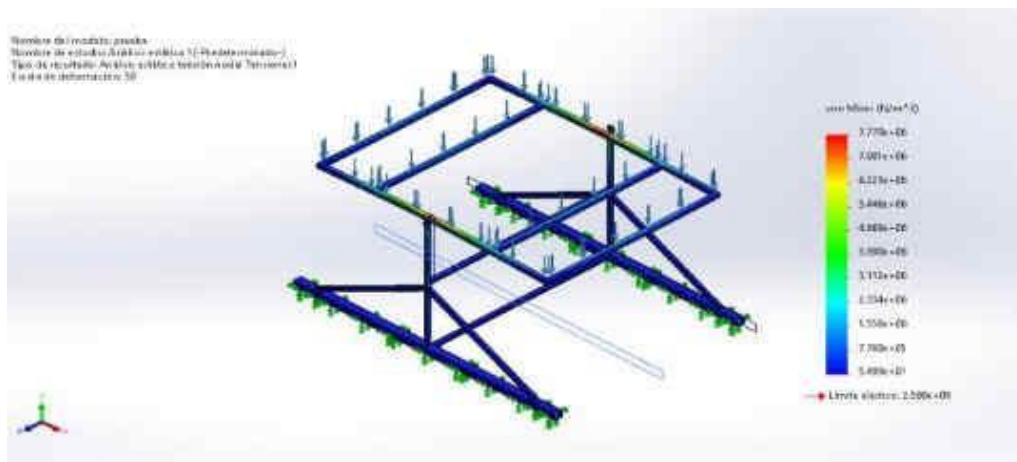


Figura 25. Análisis de tensiones en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el renderizado de la estructura del panel articulado:



Figura 26. Renderizado de la estructura en solidworks. Fuente: Elaboración propia.

Además, es necesario agregar una proyección de la estructura del panel articulado junto con el tablero de pruebas.



Figura 27. Renderizado del sistema completo en SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia.

4.9. Diseño integral del módulo fotovoltaico

El diseño integral del módulo fotovoltaico comprende la unión de los diferentes subsistemas y la implementación de este. El módulo fotovoltaico se desarrolló como prototipo y para ello se utilizó un control electrónico basado en Arduino, una estructura a base de perfiles en L desmontables y un panel didáctico para realizar pruebas eléctricas.

El control electrónico se desarrolló e implemento en Arduino, a través de la IDE de programación y la tarjeta electrónica Arduino UNO. A continuación, se presenta el detalle de la programación:

En la figura 28 se declaran las variables de tipo const in e int las cuales son usadas para habilitar el driver y éste pueda mover el motor de acuerdo a la exigencia del sistema. La variable const int permite establecer una variable que no se podrá modificar y esto se realiza ya que dicho tipo de variables van a servir para declarar las entradas y salidas del microcontrolador y estas deben ser fijas.

```
control_Meyss_PID
const int habilitar=6;//Salida PWM para el driver del motor
const int encoder=2; // entrada de encoder

const int in_driver=7;//Salida digital para el sentido de giro horariodel motor
const int in_driver2=8;//Salida digital para el sentido de giro antihorario del motor

int s_point=0; //set point del sistema
int var_control=0;//variable de control PWM calculado
float var_proceso=0;//variable de proceso (señal de LDR)
volatile int pulsos_encoder=0;//pulsos que se recibe del encoder
unsigned long lastTime=0, tiempo_muestreo=100;// tiempo de muestro del sistema
```

Figura 28. Declaración de variables Fuente: Elaboración propia.

La declaración de variables tipo float es para almacenar datos que tengan una división y como resultado será números con decimales, ese es el caso de la variable var_control, la cual se utiliza para almacenar el dato calculado del PID y pasarlo como salida analógica.

Las variables volatile tienen un rápido procedimiento durante la ejecución del programa y es de gran utilidad durante la subrutina de interrupción. La subrutina de interrupción debe ser rápida y lo más corta posible por tal motivo es de gran importancia utilizar una variable volatile.

La variable de tipo unsigned es útil para establecer una variable de tipo entero, por ejemplo, en un entero sin signo y dar la posibilidad de incrementar bits útiles en el almacenamiento de dicho dato.

En la figura 29 se realiza la programación para él envió de datos por el puerto serial al Matlab, esta tarea se hace con el fin de obtener únicamente una interface

de visualización. El envío de datos es realizado con la declaración `Serial.println()` el cual pasa como argumento el mensaje a enviar.

```
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if(dato_completo){
    s_point=dato_enviado.toInt();//conversion de la trama enviada de matlab a dato entero
    control_PID();//invocación de la función control PID
    Serial.println(var_proceso);//envio de la información al Matlab por comunicacion serial
    dato_enviado="";
    dato_completo=false;
  }
}
```

Figura 29. Envío de datos por el puerto serial. Fuente: Elaboración propia.

La salida de control o también llamada variable controlada es calculada dentro de la función `control_PID` como se muestra en la figura 30. Para el cálculo se considera las constantes de proporción e integra, a su vez se compara la variable de proceso para realizar las respectivas operaciones y entregar la salida PWM. La sentencia para la salida de control es la instrucción `analogWrite()`. El argumento de `analogWrite()` es el valor de PWM que está en el rango de 0 a 255. El valor de 0 significa 0% de ciclo de trabajo mientras que 255 significa 100% de ciclo de trabajo.

```
void control_PID(){//función PID, se calcula las variables de control

noInterrupts();//se inhabilita las interrupciones durante el calculo de variables
var_proceso= pulsos_encoder*60000/((millis()-lastTime)*pulsos_revolucion);//se calcula la velocidad a la cual se movera
lastTime=millis();//se guarda el tiempo de ejecucion
pulsos_encoder=0;//se resetea los pulsos contados
error=(s_point-var_proceso)*Kc;//se calcula el error del sistema
Iterm=error*muestreo_segundos*(1/Ti);//se calcula el termino integral.
var_control=error+Iterm;//se realiza el calculo de la variable de control
//se satura la salida al valor maximo o minimo -----
if(var_control>salida_maxima) var_control=salida_maxima; else if(var_control<salida_minima) var_control =salida_minima;

analogWrite(habilitar,var_control);//se escribe la señal PWM calculada por la salida respectiva
interrupts();// se habilita las interrupciones nuevamente antes de terminar la función PID
}
```

Figura 30. Función de programación Arduino Control_PID. Fuente: Elaboración propia.

La estructura mecánica soporta al panel fotovoltaico con un eje de movimiento como se muestra en la figura 31. El panel solar elegido es de 12 voltios teniendo un voltaje de circuito abierto de 20 voltios aproximadamente. La corriente de corto circuito es de 8.6 amperios aproximadamente. Los datos fueron realizados a las 10 horas del día y pudiéndose notar una información cercana a la especificada en la hoja técnica.

El motor de corriente continua es acoplado al eje de la estructura mecánica para dotar de movimiento al panel solar. El seguimiento del sol es realizado midiendo la intensidad solar por medio de resistores variables con la luz o también llamados LDR. Los LDR son ubicados a los extremos paralelos al eje de movimiento, específicamente al lado del panel solar. La diferencia de intensidades marca una señal para el control de seguimiento solar.

La gráfica que se obtiene de la implementación del control se puede visualizar en la figura 32.



Figura 31. Estructura de montaje del panel solar. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el control vario la señal de referencia ya que se los sensores LDR se tapan adrede para que el panel busque la mejor posición de captación de energía como se aprecia en la figura 32.

La señal de color rojo es la señal de referencia y la de color azul es la señal del sistema que sigue a la señal de referencia gracias al control. Se visualiza de la figura 32 que la señal de color rojo sigue a la azul y lo hace de manera suave, es decir, se acerca al valor deseado sin generar sobre impulsos. El control con respuesta suave ayuda a no esforzar la mecánica del sistema debido a que vence el momento de inercia progresivamente y no de manera intempestiva.

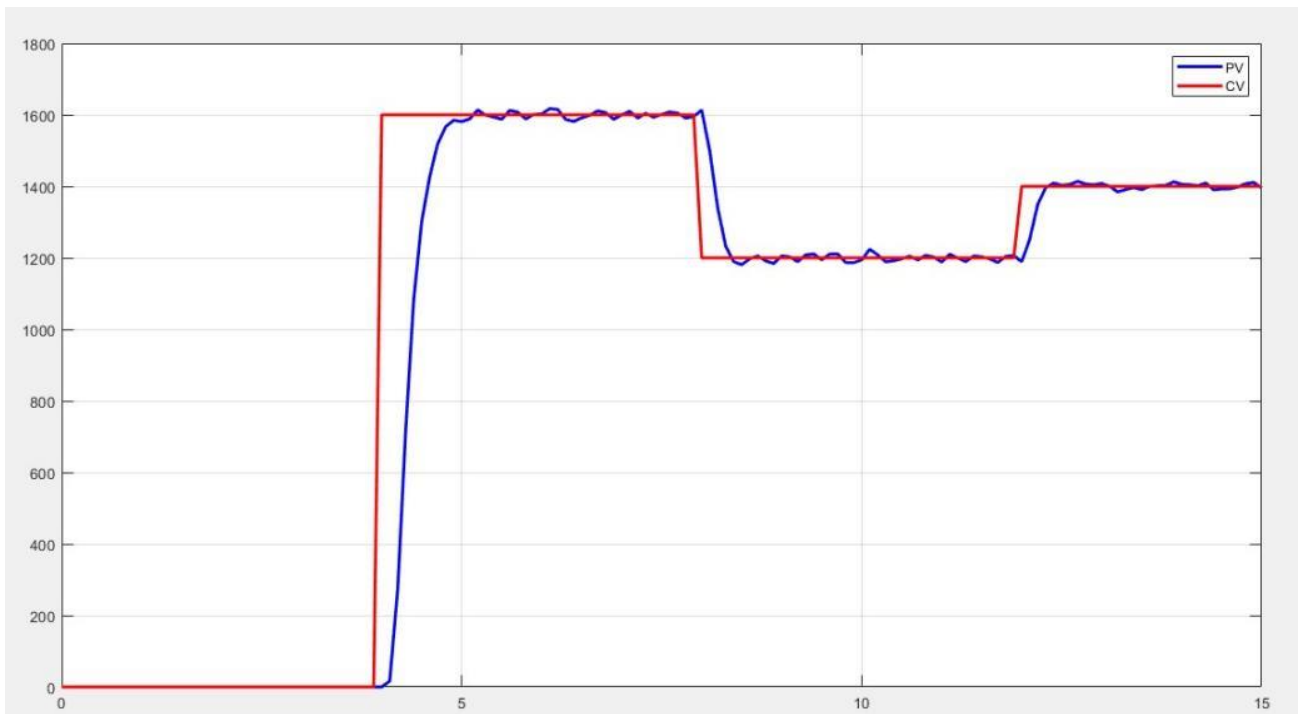


Figura 32. Visualización de variables en el Matlab. Fuente: Elaboración propia.

Así también, se diseñó y construyó el módulo de cargas el cual será alimentado por el panel fotovoltaico con control angular.



Figura 33. Módulo de cargas. Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Los resultados de las aproximaciones de la función de transferencia con valores más exactos para el sistema de primer orden que el de segundo orden. La diferencia de exactitud puede favorecer al cálculo del control PID ya que es más sencillo realizar un control PID a un sistema de primer orden que a uno de segundo orden. Eso puede significar una exigencia menor al computador o rapidez de cómputo, sin embargo, es importante considerar que al aproximar el sistema a un valor de primer orden existirán variables que se han pasado por alto. Por otro lado, el sistema de segundo orden no obvia parámetros como el de primer orden, eso significa que puede responder un poco mejor a cambios en el sistema, ya sea por desgaste eléctrico o mecánico. Asu vez Zill, et al.(2011) en su obra titulada matemáticas avanzadas para ingeniería, comenta que un sistema con una dinámica de orden superior puede ser linealizado considerando aproximaciones en un rango de trabajo del sistema, así, restringe la respuesta a un espacio acotado.

La forma de onda de la respuesta con el controlador PID, muestra un establecimiento en el set point. Además, el tiempo que demora en establecerse es lento e ideal para un seguidor solar como el que se diseña debido a que el sol se mueve lentamente. Sin embargo, se aprecia una diferencia en ambos controladores, tanto para el sistema de primer orden como el sistema de segundo orden en llegar al set point, posiblemente es debido a las consideraciones de reducir el sistema a un orden menor. Según Ogata (2010) se sabe que un sistema de segundo orden podría tener un sobre impulso porcentual dependiendo del tiempo de respuesta que se requiera, es decir, si se requiere un tiempo de respuesta rápido, de unos milisegundos, el sistema responderá con un sobreimpulso porcentual mayor a cien por ciento. Por otro lado, si el tiempo de respuesta es grande el sobreimpulso porcentual será mínimo o igual a cien por ciento.

La señal del encoder presenta ciertas perturbaciones durante la adquisición de datos con el Matlab y Arduino. Las perturbaciones pueden ser producto del ruido eléctrico inducido por el motor DC. Las perturbaciones pueden tener un origen mecánico debido a las vibraciones del motor durante el giro, ya que el encoder es

óptico y susceptible a ese tipo de perturbaciones. Sin embargo, es posible atenuar el ruido del motor o las vibraciones mecánicas con ayuda de un filtro digital hecho en la programación del Arduino. Además, Proakis y Manolakis (2007) en su obra titulada tratamiento digital de señales comenta sobre el proceso de conversión de una señal a digital, durante este proceso, el dispositivo muestreador capta las señales durante un breve tiempo, el cual es llamado tiempo de muestreo. Si el tiempo de muestreo es reducido la señal tenderá a parecerse más a la original mientras que si el tiempo de muestreo es más grande, se perderá paquetes de información. Entonces se puede considerar que, en parte, la onda que se visualiza en Matlab, tiene ciertas perturbaciones originadas por el proceso de muestreo.

Pelayo, et. al., (2018) realiza un sistema de seguimiento solar con control basado en la placa de desarrollo Arduino Nano 3.0, al realizar el proyecto se hizo la toma de datos como primer paso, esto requirió de medir la irradiancia del sol por un tiempo de 29 días. El sistema constó de un soporte articular, donde el panel es montado, así también se realizó un soporte sin articulaciones con una inclinación de 19.771° en dirección norte. El sistema de control está basado en un control ON-OFF, el cual testea constantemente las cuatro señales de resistencias variables con la luz, esos datos son comparados con operaciones aritméticas para obtener una salida que mueva al motor al punto donde las entradas sean iguales. La presente investigación cuenta con una estructura móvil y desarmable. El control del sistema se realiza en una tarjeta electrónica arduino que incorpora un control PID basado en datos reales de la planta, es decir se extrajo la función de transferencia para poder realizar el controlador. Seguidamente se procedió a programar en el microcontrolador de la tarjeta Arduino UNO, el cual tiene una salida PWM de 8 bits de resolución, ésta salida se conecta al driver L298N.

Zhu, et. al, (2020) en su investigación Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection realiza un estudio comparativo de un panel solar con estructura estática y otro panel solar con una estructura móvil de un solo eje con el objetivo de obtener un panel que pueda entregar más energía durante todo el día de funcionamiento.

El sistema mecánico del panel solar es de un solo eje existiendo paneles solares de dos ejes. El aumento de la eficiencia del segundo respecto del primero es de un 8% aproximadamente, sin embargo, el sistema de dos ejes genera un sobre costo del doble con respecto al sistema de un solo eje.

El panel solar de un solo eje aumenta la eficiencia en 60% aproximadamente. Resulta muy conveniente apostar por esta solución cuando se tiene un espacio reducido y se necesite extraer más energía de lo disponible en el área. Ya que si se dispone de espacio suficientemente amplio una opción igual de eficiente es montar más paneles solares sin ningún eje de movimiento. La compensación económica de más paneles solares estáticos respecto a paneles móviles será prácticamente la misma. Sin embargo, la consideración de este trabajo es hacer uso eficiente de los recursos, ya que resulta beneficioso para minimizar la contaminación ambiental y así también el módulo integral de un solo eje educativo.

Las tecnologías de paneles con seguimiento solar es una alternativa con un uso creciente debido a la incorporación de tecnologías al sistema. Una incorporación novedosa es la inserción de lentes Fresnel para aprovechar la energía que rebota en la cara de los paneles y dirigirla al lente Fresnel. De tal forma que la energía luminosa, se convierte en eléctrica a través del efecto fotoeléctrico de los paneles y también se convierte en energía térmica con ayuda del lente Fresnel para luego convertirse en energía eléctrica. (Barbón, et al. 2021)

Otra tecnología incorporada a los paneles solares y que hace atractiva la inversión en ellos es la generación de hidrógeno verde. El hidrógeno verde es la producción de hidrógeno a través de fuente de energía limpia. Debido a que el petróleo es cada vez inaccesible y cualquier conflicto mundial podría derrumbar la cadena de suministros de diferentes materias primas resulta importante la producción de este elemento como combustible para vehículos de transporte. (Fopah-Lele, et al. 2021).

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye del trabajo de investigación que la recolección de información de datos meteorológicos para las coordenadas proporciona una energía suficiente para poder dimensionar un panel en un módulo educativo. Así mismo se debe resaltar que las medidas de radiación proporcionadas por la NASA evidencian que la mayor magnitud de esta variable no se da en la estación de verano.
- El sistema de control angular presenta diferentes vertientes, entre ellas, el control proporcional integral derivativo o también llamado PID. El control PID sirvió para poder sintonizar el sistema a un valor de consigna deseado, este valor fue logrado sin tener sobre-enlongaciones, es decir, con un arranque suave del motor hasta llegar al setpoint deseado.
- El control del sistema con seguimiento solar responde sin generación de sobre impulsos, esto beneficia al Sistema para que no esfuerza la mecánica con movimientos repentinos. El control alcanza el punto de referencia ante variaciones de está misma, pudiendose demostrar que el control logra realizar el seguimiento satisfactoriamente.
- La estructura diseñada y analizada en SolidWorks ofreció información relevante para definir el tipo de estructura y las deformaciones que ésta tendría. El análisis por elementos finitos evidencia que la estructura se deforma en valores admisibles, es decir, que no fractura al material, ni lo esfuerza.
- La implementación del sistema integral permitió recabar información de la energía capturada del sol y a su vez lograr aumentar la eficiencia del panel fotovoltaico a través de un control angular de un eje.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda extraer datos de radiación solar manualmente durante una mayor cantidad de tiempo para contrastar la información de la NASA, esto último debido a que no existe información actualizada del SENAMHI.
- Se recomienda utilizar encoders magnéticos para minimizar el ruido en los encoders ópticos ya que el funcionamiento del motor induce una perturbación en la toma de datos.
- Se recomienda utilizar rodamientos para minimizar las fricciones en las piezas con movimiento relativo, como es el eje del panel fotovoltaico.
- Es recomendable posicionar el panel solar en dirección al norte o línea ecuatorial para una mayor captación de energía, debido a que el panel recoge mayor radiación en dicha posición.
- Es recomendable seleccionar un motor de corriente continua con un alto valor de reducción para aprovechar más el torque ya que la velocidad angular del motor no necesita ser rápida.

REFERENCIAS

TESLA ENERGY. (2020). *Sistemas Fotovoltaicos: Máxima Eficiencia con Energía Solar*. Obtenido de Tesla Energy. Proyectos de energía solar: <https://teslaenergy.cl/sistemas-fotovoltaicos/#>

Espinosa Prieto, A. (2020). *La contaminación silenciosa*. Granada: Universidad de Granada.

MINEM. (2018). *Anuario estadístico de electricidad 2018*. Lima: MINEM.

MINEM. (2020). *Anuario estadístico de electricidad 2020*. Lima: MINEM.

MINEM. (2019). *Anuario estadístico de electricidad 2019*. Lima: MINEM.

UNESCO. (s.f.). *UNESCO*. Obtenido de <https://es.unesco.org/sdgs>

Perpiñán Lamigueiro, O. (2020). *Energía sola fotovoltaica*. España: Creative Commons.

Abbas A, G., Salwa Niaz, Sana Khan, & Sadia Nasir. (2022). *The effectiveness of installing solar panels at schools in Pakistan to increase enrolment*. Springer.

Sánchez Juárez, A., Martínez Escobar, D., De la Luz Santos Magdaleno, R., Ortega Cruz, J., & Sánchez Pérez, P. A. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Cortés A., S., Yohannessen V., K., Tellerías C., L., & Ahumada P., E. (2019). Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional? *Scielo*.

Cuchula Ramos, L., Gutierrez Barreto, J. A., & Auris Candela, F. G. (2021). *Estudio comparativo del sistema eléctrico entre un colegio regular privado y un colegio sostenible en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Pelayo López, J. A., Luna Soto, A., Bernabe Ramos, F., & Guzmán Flores, B. (2018). Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*.

Mayer, M., Cáceres, M., Firman, A., & Vera, L. H. (2018). Desarrollo de algoritmos de control de un sistema seguidor para medición de las componentes de la radiación solar. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 198-210.

Carpio Vintimilla, J. F. (2021). *Comparación de modelos de seguimiento solar y análisis económico-electrico de un sistema solar fijo*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Mamani Huaman, J. M. (2020). *Diseño y construcción de un sistema automático de seguimiento solar basado en visión artificial aplicado a sistemas fotovoltaicos*. Arequipa.: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Colegio oficial de ingenieros de telecomunicaciones. (2002). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Inforama.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson educación .

Febres Flores, M. E. (2021). *Diseño de un módulo didáctico para el estudio de las curvas características I-V de paneles solares para el laboratorio de circuitos eléctricos en la universidad Señor de Sipán*. Pimentel - Perú: Universidad Señor de Sipan.

De la Cruz Llontop , E. J., & Julca Barturen, J. (2021). *Diseño de un módulo didáctico automatizado alimentado con energía fotovoltaica para el colegio politécnico "Pedro Abel Labarthe Durand"*. Chiclayo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.

Diaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (s.f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Mc Graw Hill.

Palacios, E., Ramiro, F., & López, L. J. (2004). *Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos*. Mexico: Ra-Ma.

Lawrence, L. (2020). *Solar power for beginners. Basics, design and installation of a solar panel system. The complete guide for your off-grid home*.

Reddy, T. (2011). *Linden's Handobook of batteries*. Estados Unidos: McGraw-Hill companies.

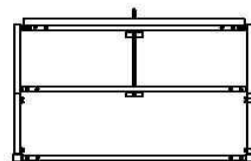
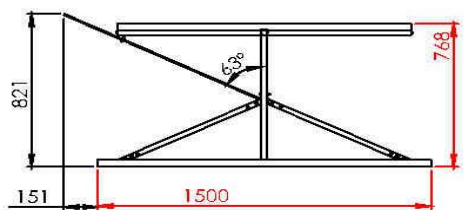
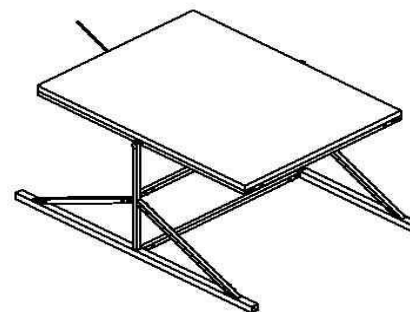
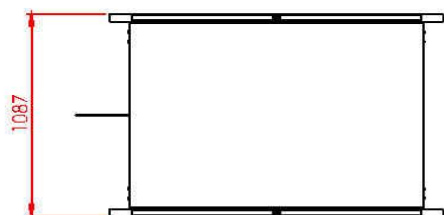
Zill, D., Wright, W., & Cullen, M. (2011). *Matemáticas avanzadas para ingeniería*. Mexico: McGraw-Hill.

Proakis, J., & Manolakis, D. (2007). *Tratamiento de señales digitales*. Mexico: Pearson Pentice Hall.

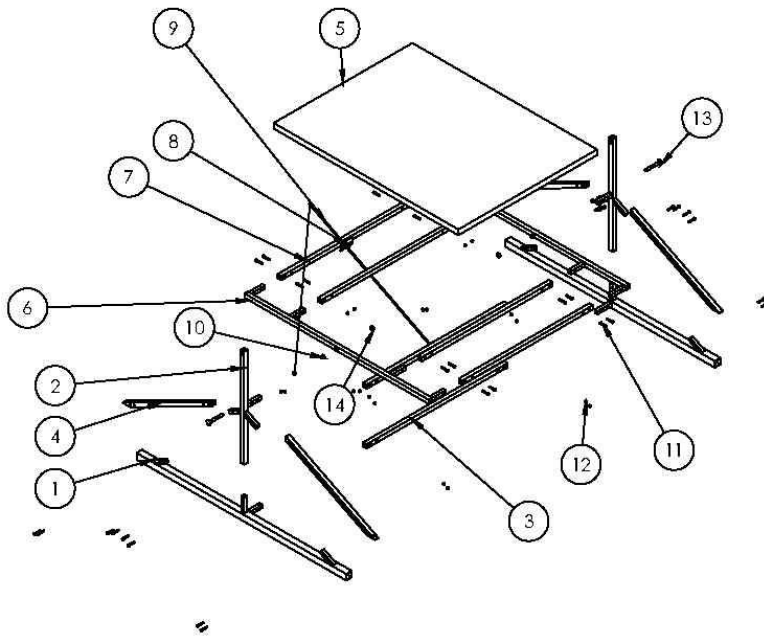
Zhu, Y., Liu, J., & Yang, X. (2020). Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel siguel-axis trackin structure to maximize energy collection. *Elsevier*.

ANEXOS

Anexo 1. Estructura mecánica del panel solar

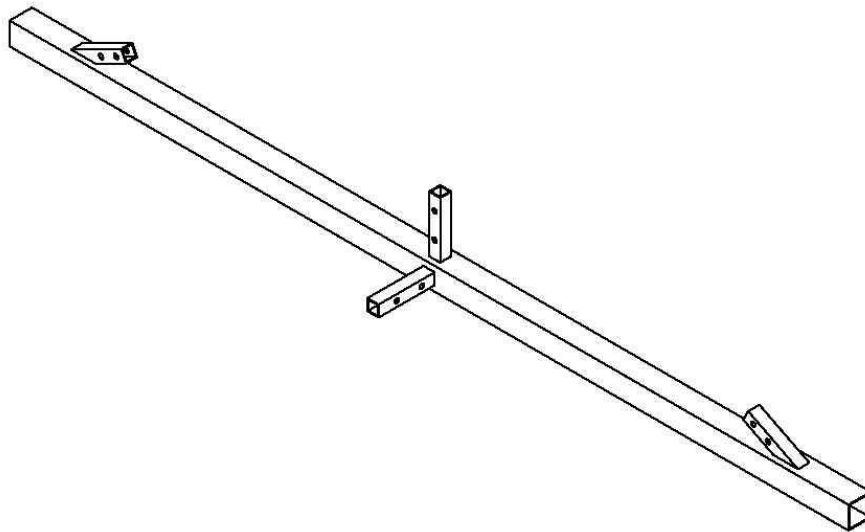
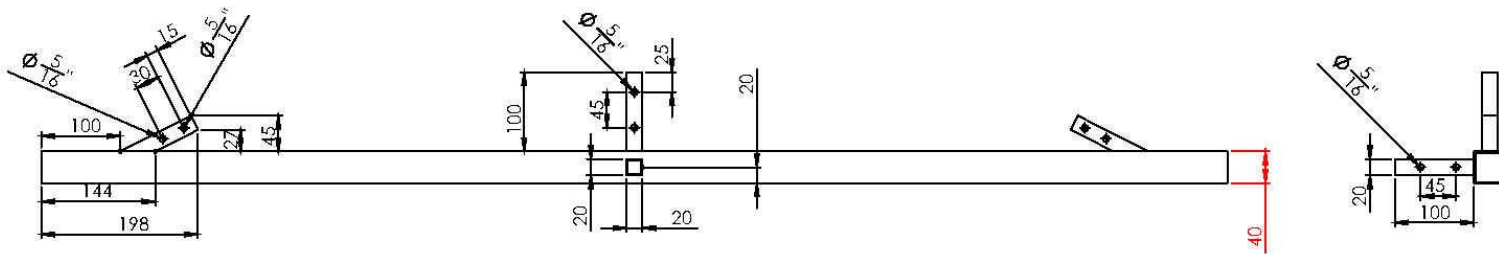
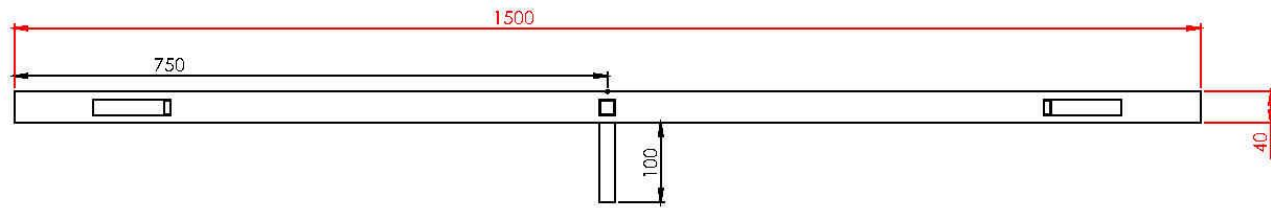


proyecto: estructura panel solar	
realizado por: MEYSS TAPIA MARTEL	
Escala: 1:5	A-3
Fecha: 19/06/2022	Hoja: 1 de 10

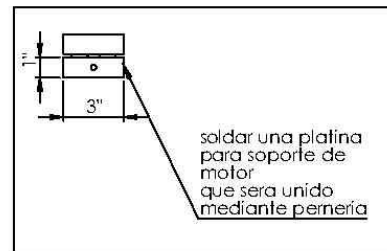
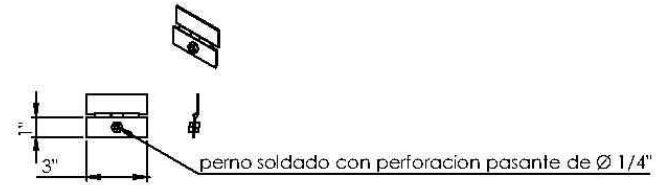
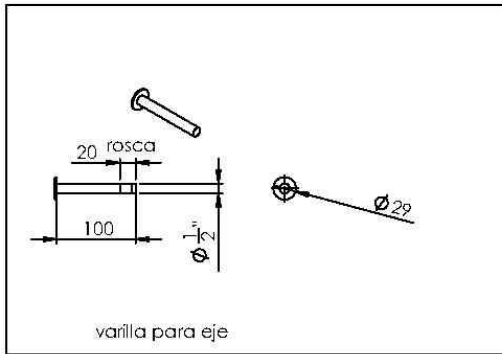
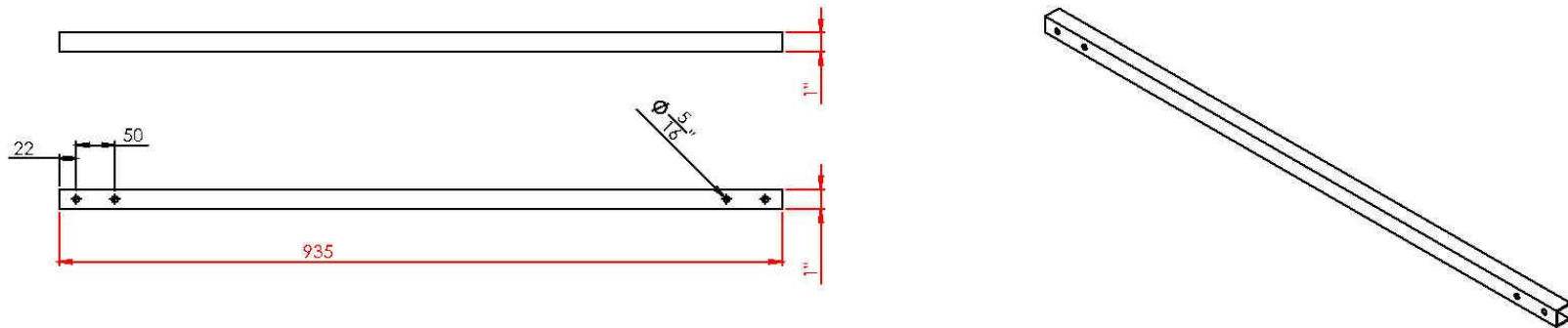


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	lateral base	tubo cuadrado 40mm*40mm*1500mm* espesor 1.5mm	2
2	columna	tubo cuadrado 700mm*1"*1"	2
3	vigueta	tubo cuadrado 1"*1"*1007mm	2
4	tensadores	tubo cuadrado 1"*1"*714mm	4
5	panel	tubo cuadrado 1320*992*35	1
6	vigas solares	tubo cuadrado 1320*1"*1"	2
7	vigas solares centrales	tubo cuadrado 935mm*1"*1"	4
8	bisagra	3"*1"	2
9	varilla pivote	esparrago Ø1/4"*1000mm	1
10	rodamiento D W ER1212		4
11	pernera 1	Ø1/4"*1/2"	40
12	tuerca	Ø1/4"	40
13	varilla para eje	Ø1/2"*100	2
14	tuerca2	Ø1/2"	2

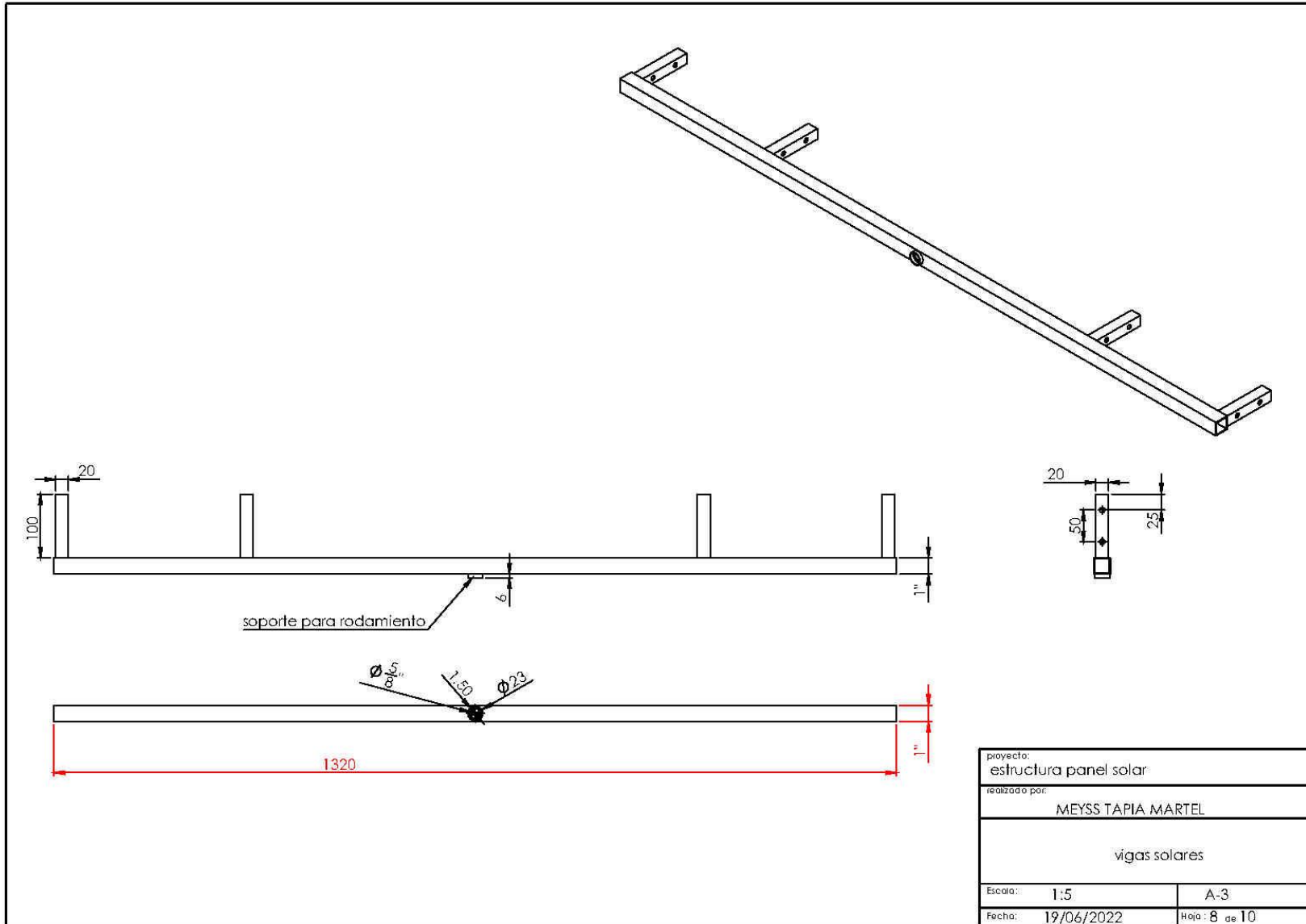
proyecto: estructura panel solar	
realizado por: MEYSS TAPIA MARTEL	
Escala:	1:5
	A-3
Fecha:	19/06/2022
	Hoja: 2 de 10

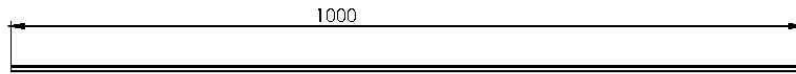


proyecto: estructura panel solar	
realizado por: MEYSS TAPIA MARTEL	
LATERAL BASE	
Escala:	1:5
	A-3
Fecha:	19/06/2022
	Hoja: 3 de 10

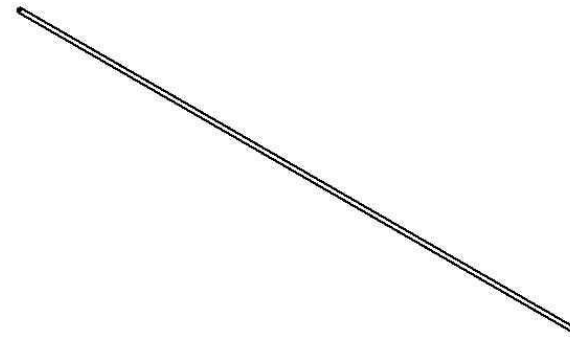


proyecto: estructura panel solar	
realizado por: MEYSS TAPIA MARTEL	
vigas solares centrales	
Escala:	1:5 A-3
Fecha:	19/06/2022 Hoja: 9 de 10

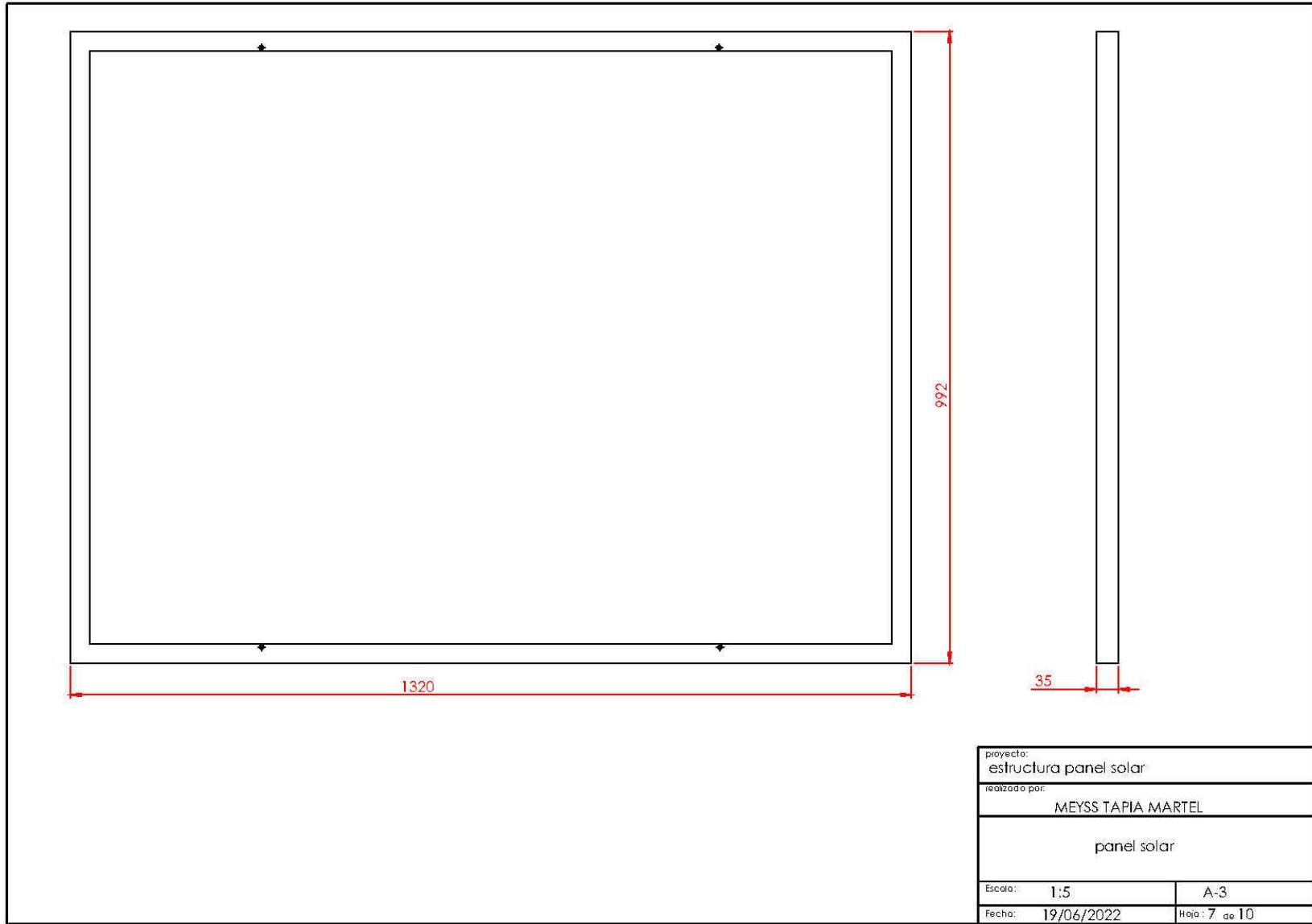




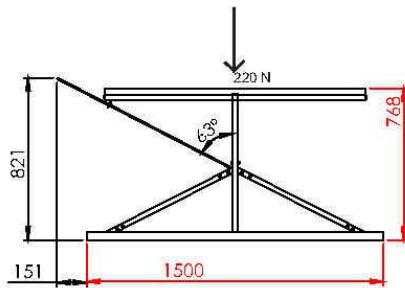
esparrago de 1/4"



proyecto:	
estructura panel solar	
realizada por:	
MEYSS TAPIA MARTEL	
Escala:	1:5
	A-3
Fecha:	19/06/2022
	Hoja: 10 de 10



proyecto:		
estructura panel solar		
realizada por:		
MEYSS TAPIA MARTEL		
panel solar		
Escala:	1:5	A-3
Fecha:	19/06/2022	Hoja: 7 de 10



El sistema estructural cumple con la segunda condición de equilibrio donde se establece que la sumatoria de los torques o momentos producidos por todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, sin importar respecto a qué punto se calculan, debe anularse para que dicho cuerpo se encuentre en equilibrio estático o dinámico.

$$\sum T = 0$$

concluyendo que para el calculo del torque del motor , el momento aplicado se realiza en el esparrago.

Masa del esparrago= 0.25kg

$$T = 2,5N \cdot 1m + 50\%(2,5N \cdot 1m)$$

T=3.75Nm ---- dato teorico

Característica del motor comercial

Voltaje: 12 VDC
 Corriente continua: 5A
 Velocidad nominal: 50 RPM
 Potencia con carga: 60 Watts
 Torque constante: 6 N·m (60kg·cm)
 Tornillos tipo: M6
 Shaft: 3/8

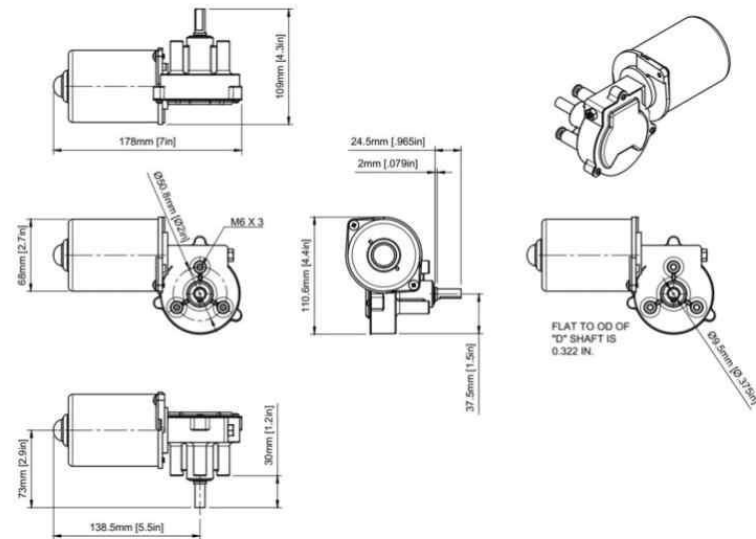
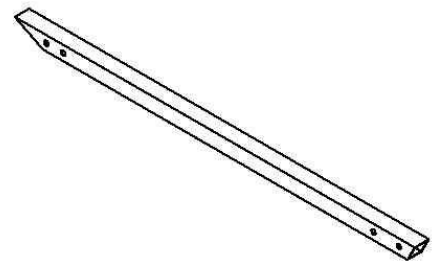
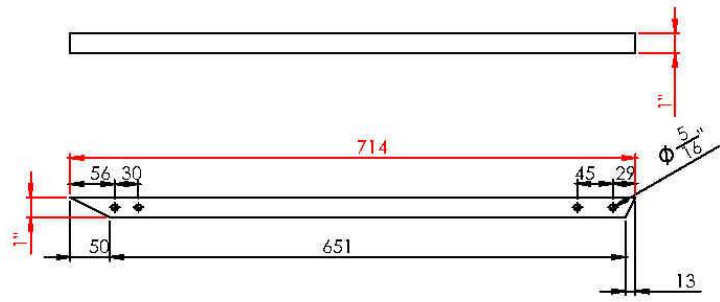
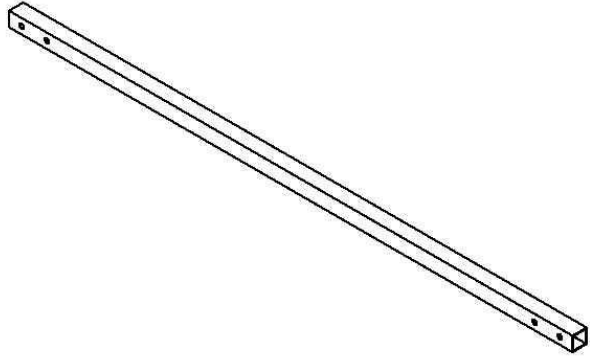
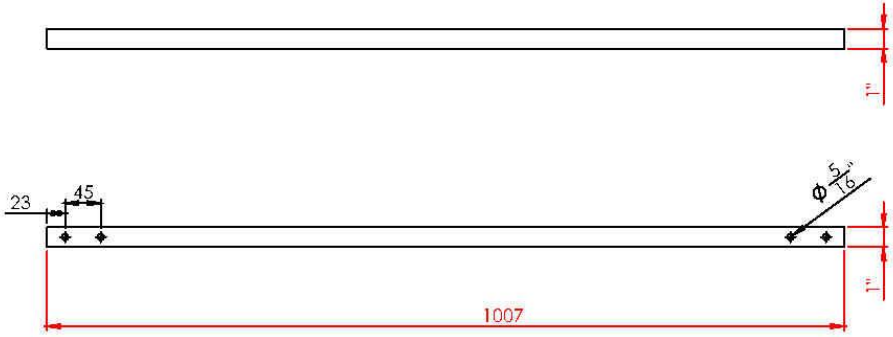


Imagen referencial

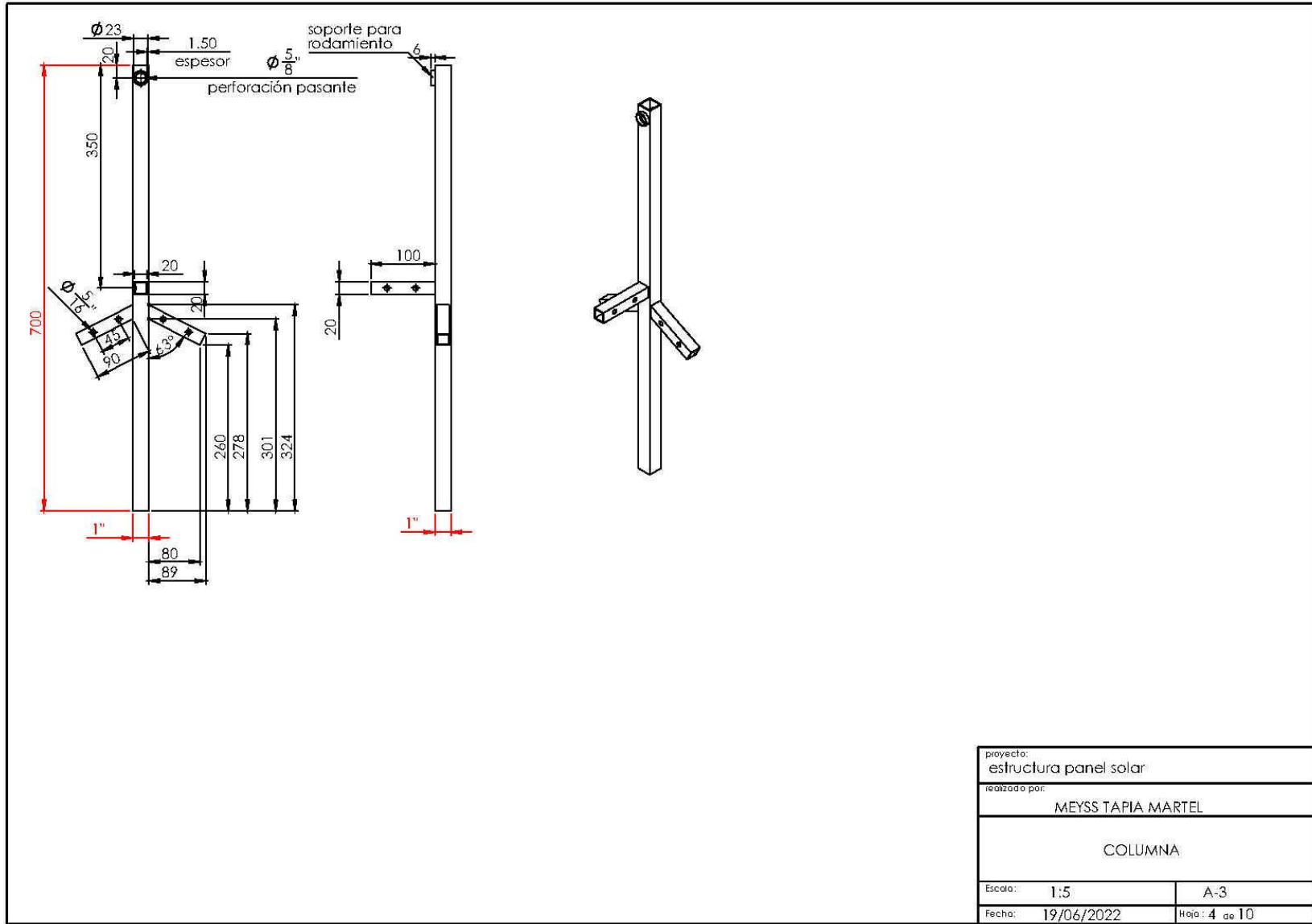
proyecto: estructura panel solar	
realizada por: MEYSS TAPIA MARTEL	
Escala:	1:5 A-3
Fecha:	19/06/2022 Hoja: 10 de 10



proyecto:	
estructura panel solar	
realizada por:	
MEYSS TAPIA MARTEL	
lensadores	
Escala:	1:5
	A-3
Fecha:	19/06/2022
	Hoja: 6 de 10



proyecto:	
estructura panel solar	
realizada por:	
MEYSS TAPIA MARTEL	
vigüeta	
Escala:	1:5
A-3	
Fecha:	19/06/2022
Hoja: 5 de 10	





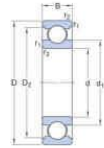
D/W ER1212

Rodamientos rígidos de bolas

Calce de los rodamientos:
Tolerancias:
Normales (internas), P8, P5, Normales,
(en pulgadas),
Juego radial interno:
Classy C2 o C3

Interfases del rodamiento:
Tolerancias de los ejes en
las condiciones estándares,
Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica

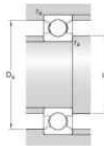


DIMENSIONES

d	12.7 mm	Diámetro del agujero
D	19.05 mm	Diámetro exterior
B	3.967 mm	Ancho
d ₁	≈ 14.5 mm	Diámetro del resalte
D ₁	≈ 16.7 mm	Diámetro del resalte
D ₂	≈ 17.3 mm	Diámetro de rebaja
r1,2	min. 0.25 mm	Dimensión del chanfón

DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _a	min. 14 mm	Diámetro del resalte del eje
D _a	max. 17.5 mm	Diámetro del resalte del soporte
ra	max. 0.25 mm	Radio del eje o cuadrado del soporte



El rodamiento se ubica en los lados central de los extremos del panel, donde soportará una fuerza aproximada de 220N que corresponde al peso del panel y estructura.
Según la ficha técnica el rodamiento de bolas cumple con nuestro requerimiento

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	0.52 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	0.27 kN
Carga límite de fatiga	F _u	0.011 kN
Velocidad de referencia		75 000 r/min
Velocidad límite		45 000 r/min
Factor de carga mínima	k _r	0.015
Factor de cálculo	f ₀	8.3

MASA

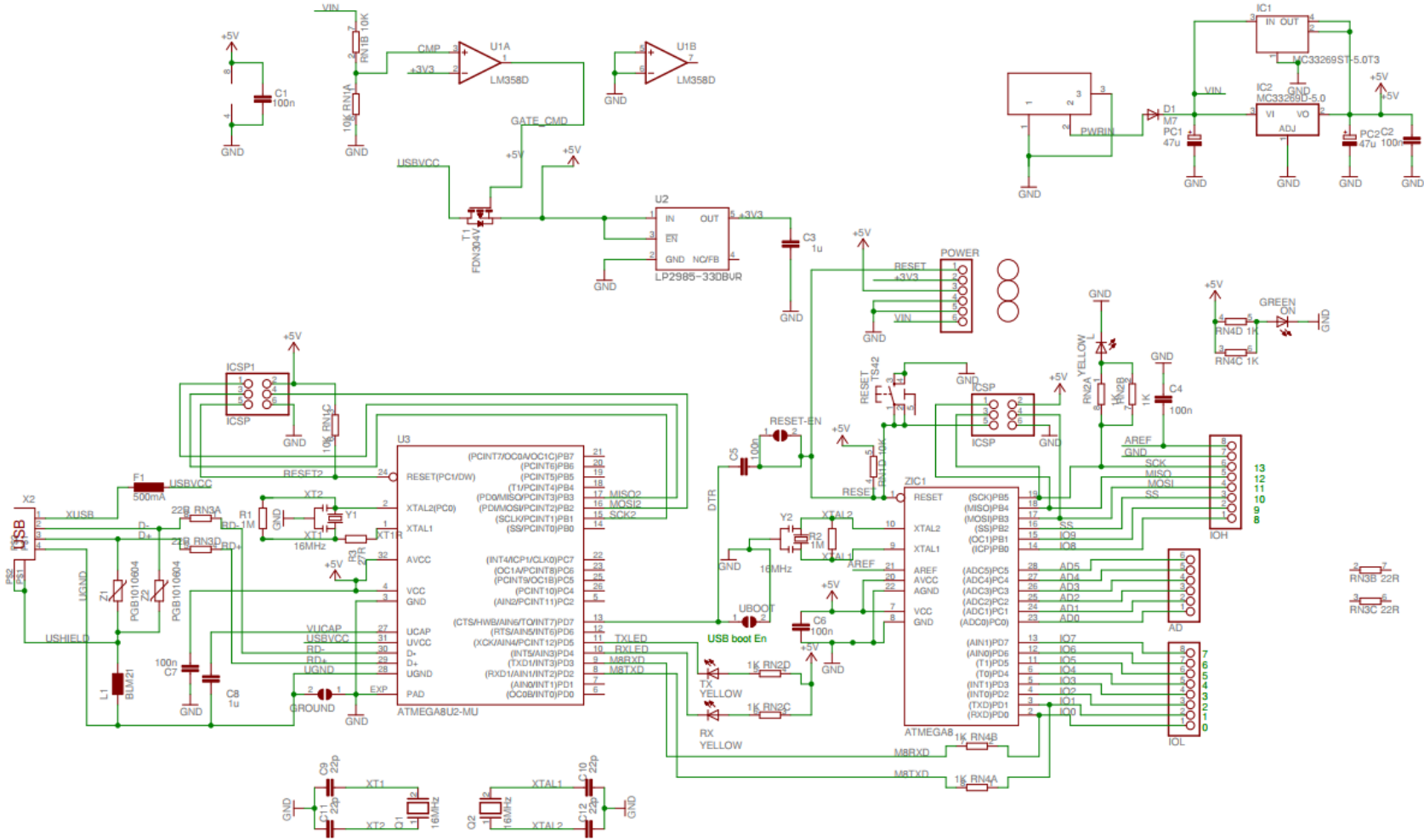
Masa de rodamiento	0.003 kg
--------------------	----------

CLASE DE TOLERANCIA

Tolerancias dimensionales	Normal
Desviación radial	Normal

proyecto: estructura panel solar	
realizada por: MEYSS TAPIA MARTEL	
Escala:	1:5 A-3
Fecha:	19/06/2022 Hoja: 10 de 10

Anexo 2. Diagrama de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO



Anexo 3. Hoja técnica del driver L298



L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

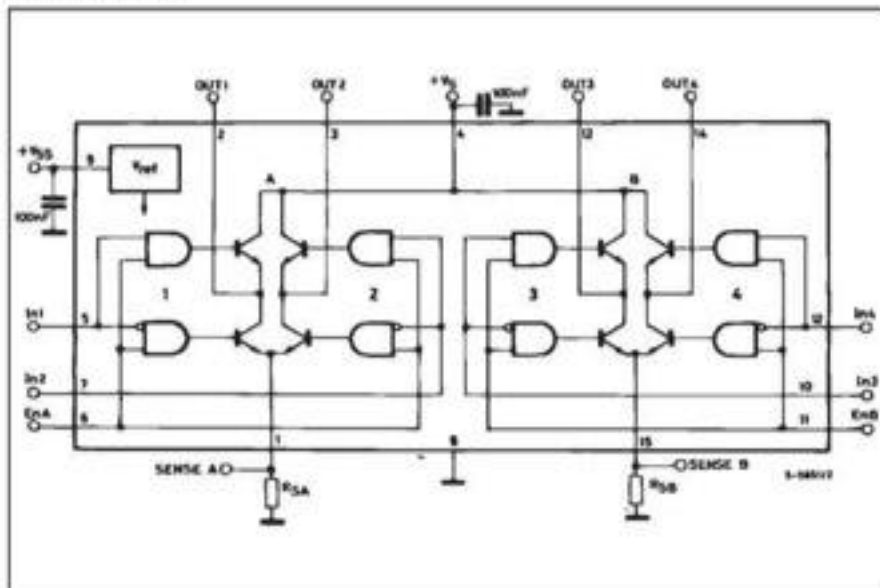


DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

section of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

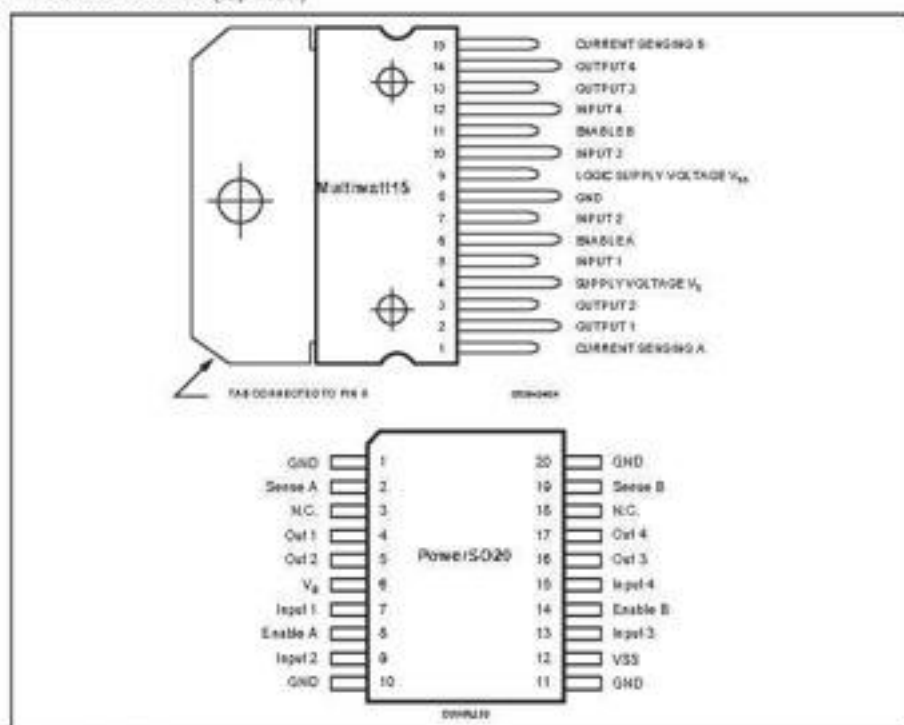


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{DD}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{En}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)	3	A
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	2.5	A
	- Repetitive (50% on -20% off, $I_{ce} = 10ms$)	2	A
	-DC Operation	2	A
V_{Sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multimat15	Unit
$R_{\theta j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	$^\circ C/W$
$R_{\theta j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW, 15	PowerSO	Name	Function
1, 15	2, 19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2, 3	4, 5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5, 7	7, 9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6, 11	8, 14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1, 10, 11, 20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10, 12	13, 15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13, 14	16, 17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3, 18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IK} + 2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		-4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0		13	22	mA
		V _I = L		50	70	mA
		V _{en} = L			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0		24	36	mA
		V _I = L		7	12	mA
		V _{en} = L			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _L	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _H	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{DSAT(S)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V _{DSAT(S)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V _{DSAT}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V _{SEN}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V)	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_I$ to $0.9 I_L$ (2), (4)		1.5		μs
T_2 (V)	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2), (4)		0.2		μs
T_3 (V)	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_I$ to $0.1 I_L$ (2), (4)		2		μs
T_4 (V)	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2), (4)		0.7		μs
T_5 (V)	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_I$ to $0.9 I_L$ (3), (4)		0.7		μs
T_6 (V)	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3), (4)		0.25		μs
T_7 (V)	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_I$ to $0.9 I_L$ (3), (4)		1.6		μs
T_8 (V)	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3), (4)		0.2		μs
f_c (V)	Commutation Frequency	$I_L = 2A$		25	40	KHz
T_1 (V _{sat})	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{DS}$ to $0.9 I_L$ (2), (4)		3		μs
T_2 (V _{sat})	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2), (4)		1		μs
T_3 (V _{sat})	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{DS}$ to $0.1 I_L$ (2), (4)		0.3		μs
T_4 (V _{sat})	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2), (4)		0.4		μs
T_5 (V _{sat})	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{DS}$ to $0.9 I_L$ (3), (4)		2.2		μs
T_6 (V _{sat})	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3), (4)		0.35		μs
T_7 (V _{sat})	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{DS}$ to $0.9 I_L$ (3), (4)		0.25		μs
T_8 (V _{sat})	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3), (4)		0.1		μs

1) Sensing voltage can be $-1V$ for $t_d \leq 50 \mu s$; in steady state $V_{DS} \text{ min} > -0.5V$.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

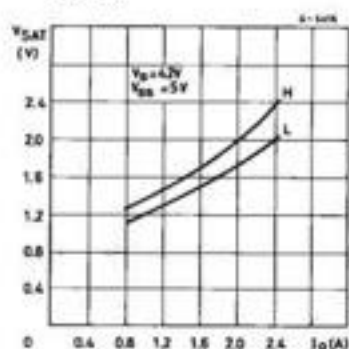
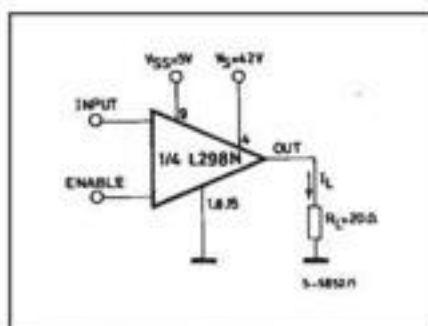


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT switching, set EN = H
For ENABLE switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

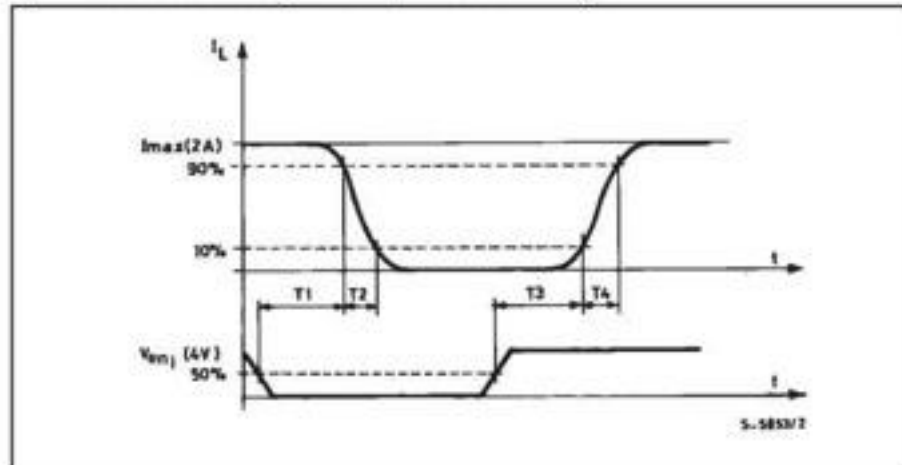
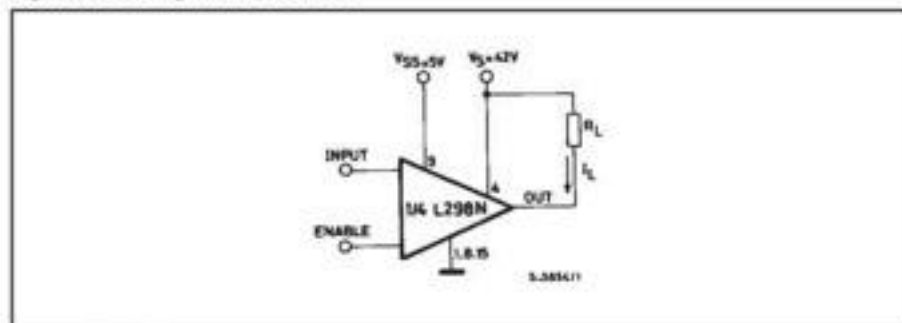


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H.
For ENABLE Switching, set IN = L.

L298

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

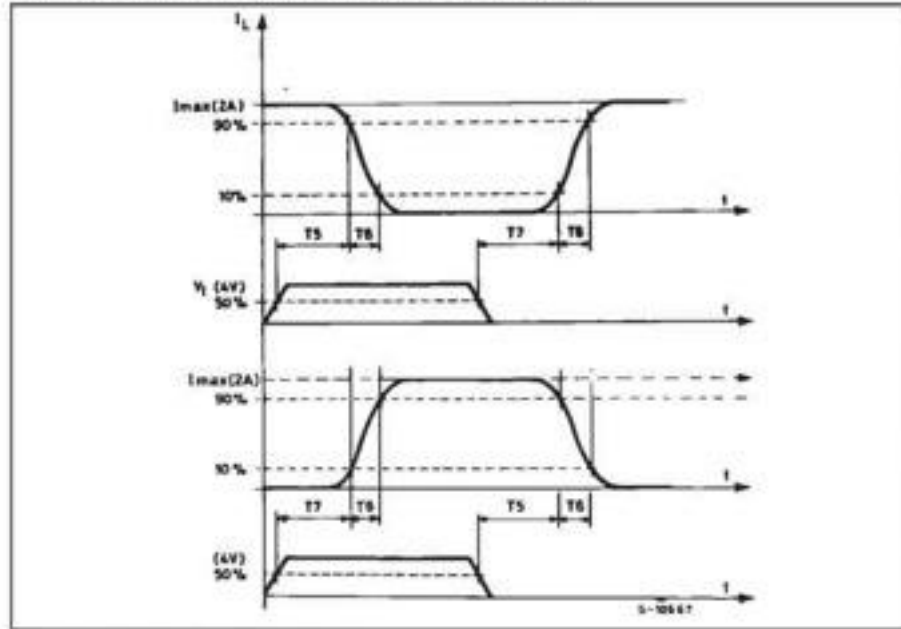


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

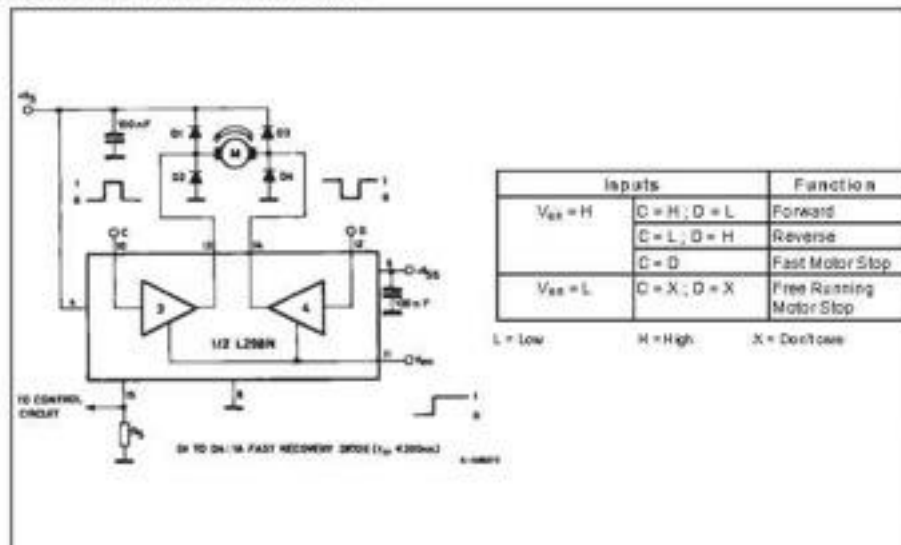
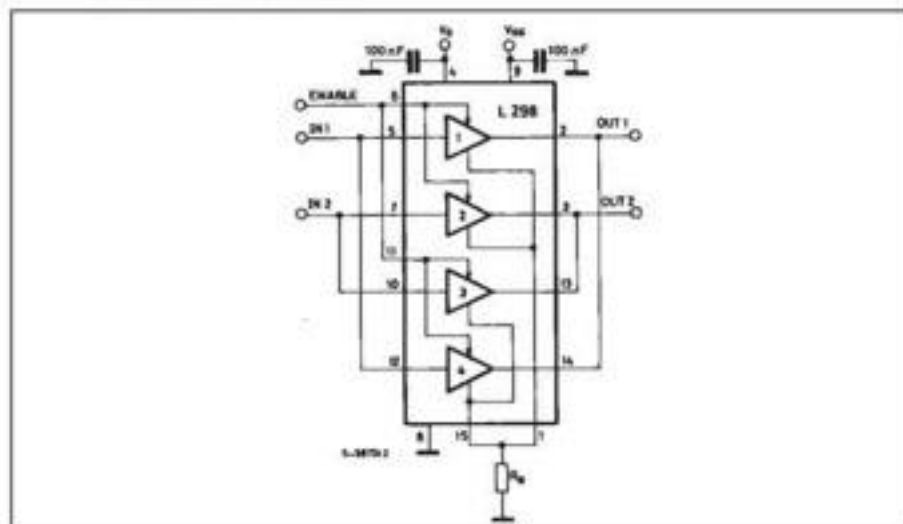


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A, B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} , R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are $IN1$; $IN2$; EN_A and $IN3$; $IN4$; EN_B . The IN inputs set the bridge state when the EN input is high; a low state of the EN input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_S and V_{SS} to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wirewound type, must be grounded near the negative pole of V_S that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

L298

This solution can drive until 3 Amps in DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

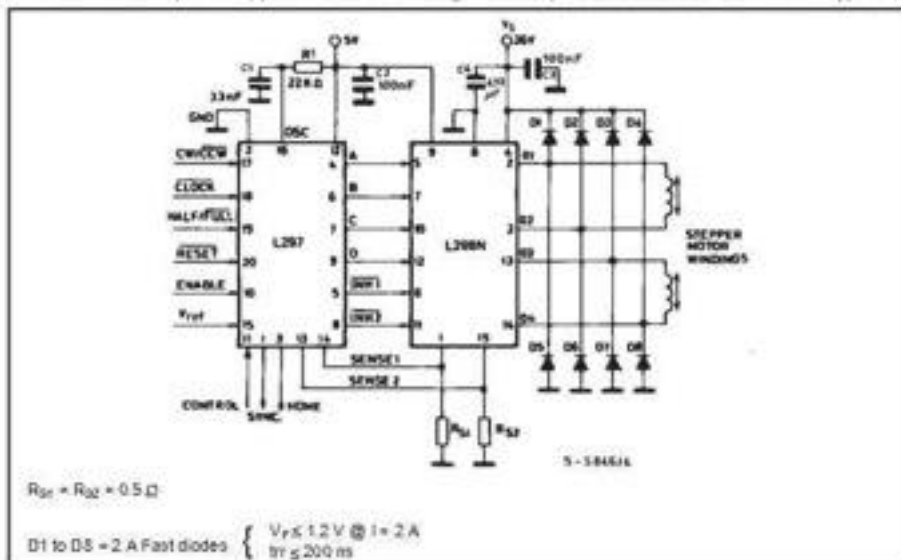


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale)

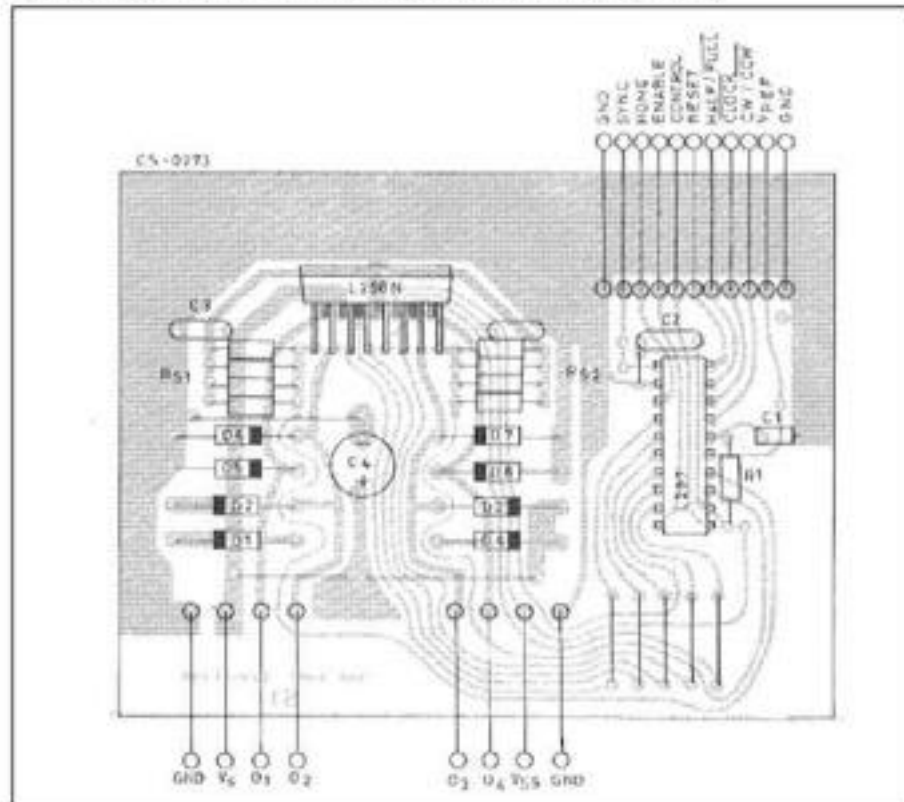
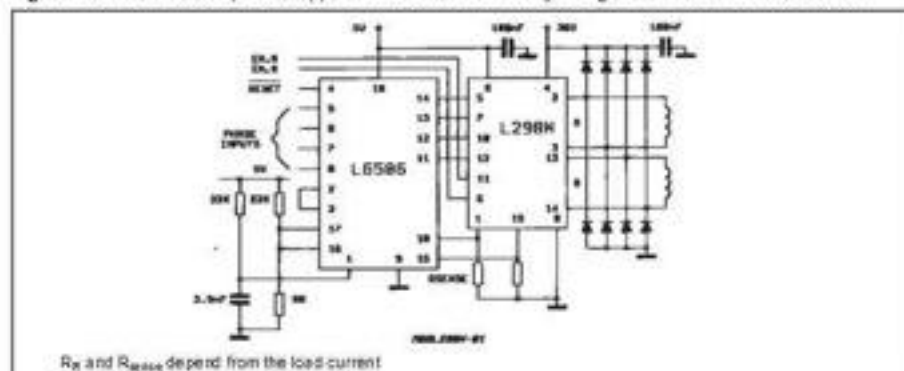


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



R_{α} and R_{β} depend from the load current

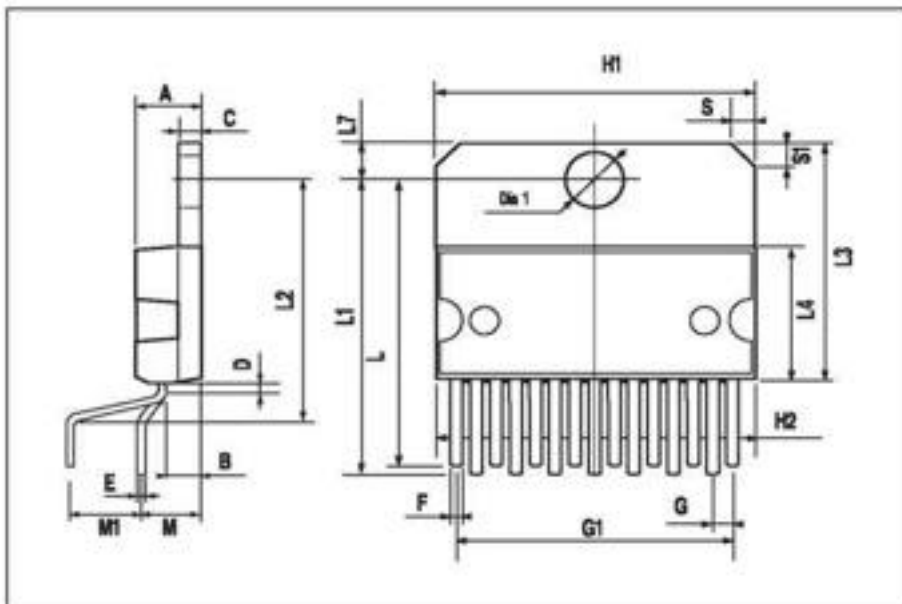
L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dw1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

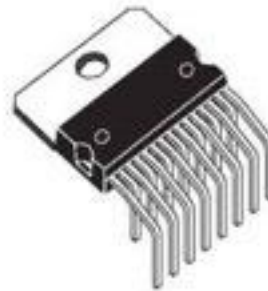


Multiwatt15 V

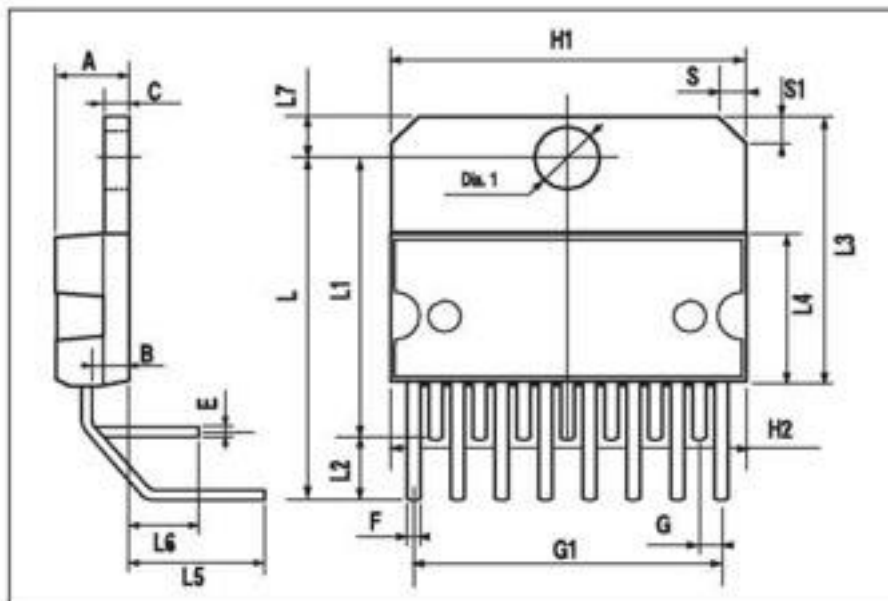


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dist	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H



L298

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N			10° (max.)			
S			8° (max.)			
T		10			0.394	

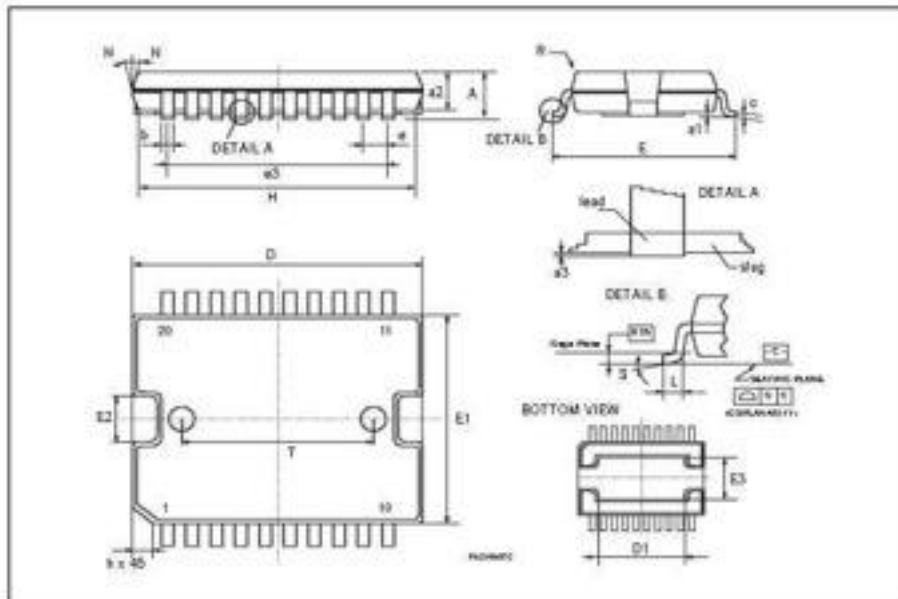
(1) "D" and "E" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions: "E", "D" and "a2".

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

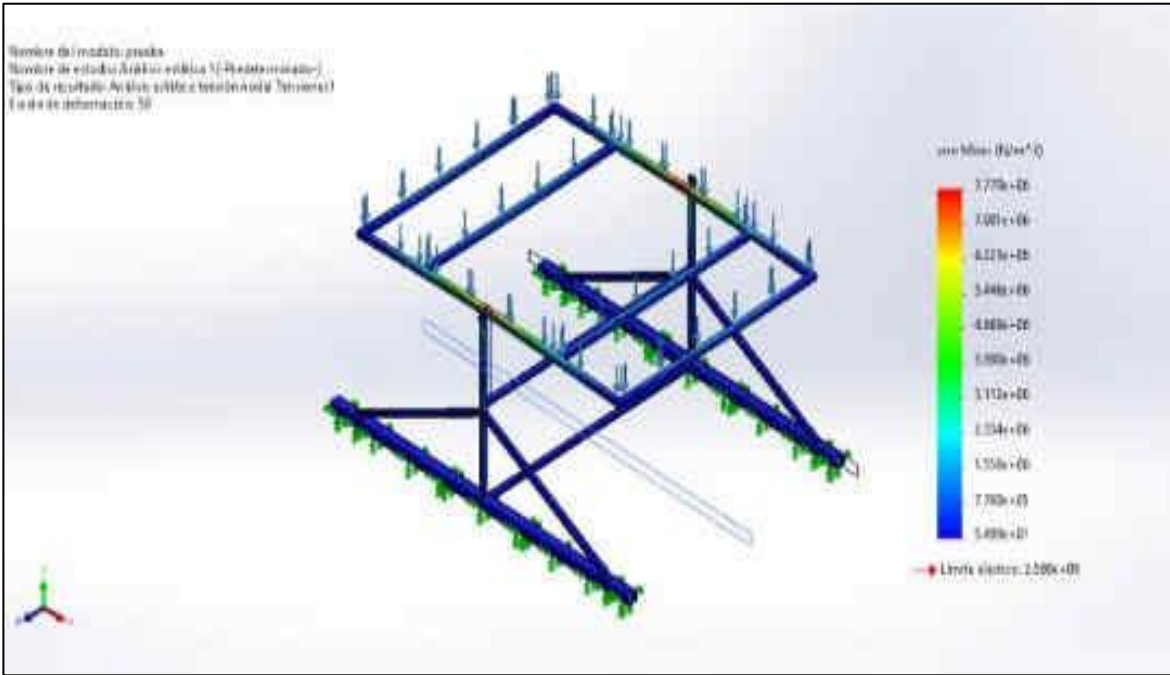
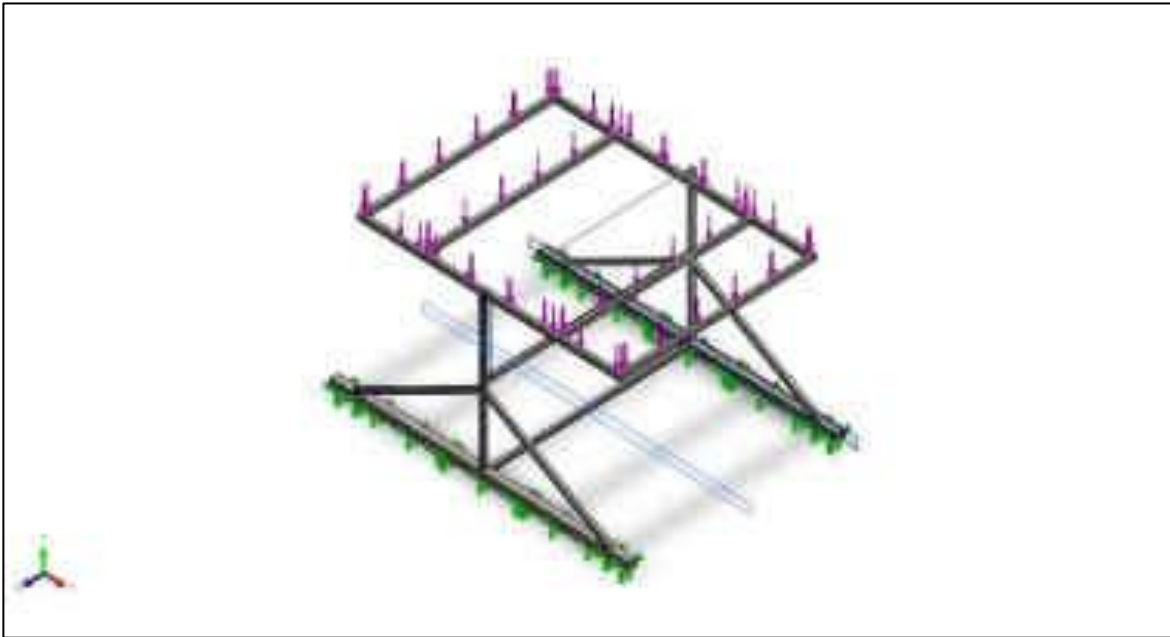


JEDEC MO-168

PowerSO20



Anexo 4. Análisis de esfuerzo en Solidworks

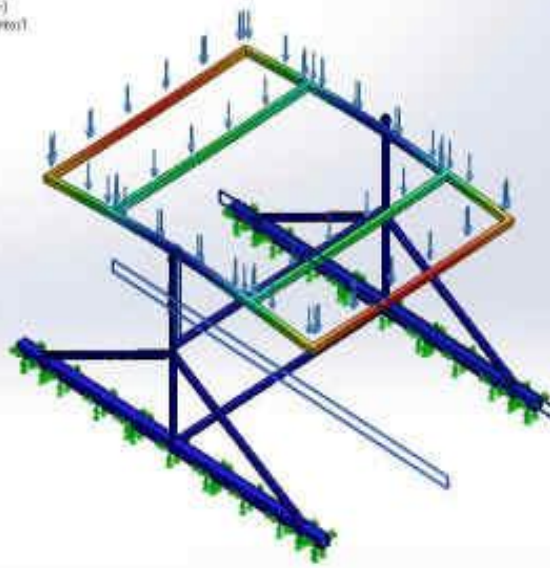


Nombre del modelo: prueba

Nombre de archivo: Analisis estatico (C-Problema resuelto)

Tipo de resultado: Desplazamiento estatico (Desplazamiento)

Escala de deformación: 100



URES (mm)



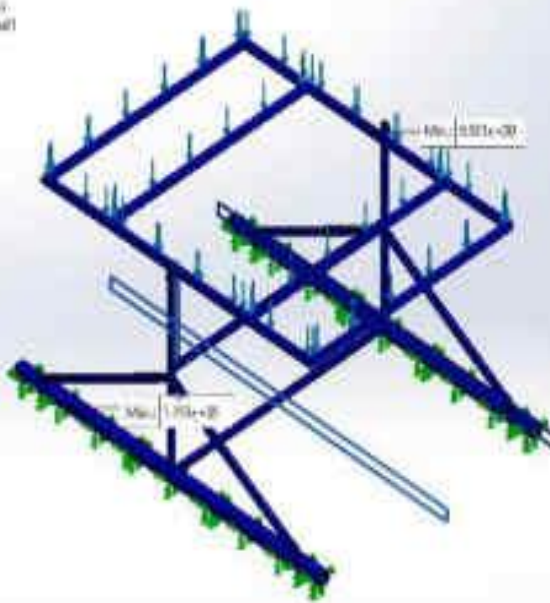
Nombre del modelo: prueba

Nombre de archivo: Analisis estatico (C-Problema resuelto)

Tipo de resultado: Factor de seguridad (Factor de seguridad)

Criterio: Tension (con Mises)

Distribución de factor de seguridad (FS) (mm x 1/P)



FS



Anexo 5. Renderizado en Solidworks







Tablero Eléctrico



Lámparas



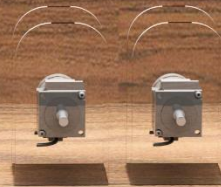
Inversor



Motores DC 12v

Motor AC 0.5 HP

Selector de Carga





Anexo 6. Programa Arduino para obtener la función de transferencia del motor DC

```
const int IN1=7;
const int IN2=8;
const int Conta=2;
const int enab=6;

unsigned long tiempoAnt=0, tiempoMues=100; //datos de tiempo par
artificio
const float resoluc=100; //resolucion del encoder
volatile int pulsos=0; //conteo de pulsos del encoder
int cValue=0; //variable de control. PWM del arduino
float pValue=0; // variable de proceso

String dato=""; //variable de la comunicación
bool dataComplete=false; //variable de la comunicación
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Conta, INPUT); //declaración de una entrada
  pinMode(IN1, OUTPUT); //declaración de una salida
  pinMode(IN2, OUTPUT); //declaración de una salida

  digitalWrite(IN1, HIGH); //inialización de la salida
  digitalWrite(IN2, LOW); //para que vaya en un sentido de giro
  attachInterrupt(0, counter, RISING); //declaración de la
  //funcion de interrupcion
  //*****
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if(dataComplete){
    cValue=dato.toInt();
    Serial.println(pValue);
    dato="";
    dataComplete=false;
  }
  if(millis()-tiempoAnt>=tiempoMues){
    noInterrupts();
    pValue= pulsos*60000/((millis()-tiempoAnt)*resoluc);
    tiempoAnt=millis();
    pulsos=0;
    analogWrite(enab, cValue);
    interrupts();
  }
}

void counter(){
  pulsos++;
}

void serialEvent(){
  while(Serial.available()){
    char inChar=(char)Serial.read();
    dato+=inChar;
    if(inChar=='\n'){
      dataComplete=true;
    }
  }
}
}
```

Anexo 7. Programa en Matlab para extraer la funcion de transferencia

```
clear %limpia variables
close all %cierra todas las ventanas
clc %limpia el command Windows
tf=10;%tiempo final
ts=0.1;%tiempo de muestreo
t=0:ts:tf;%vector con el tiempo para el ploteo

Q=length(t);%Longitud de todo el tiempo

CV=zeros(1,Q);%vector para almacenar el CV, inicia en 0
PV=zeros(1,Q);%vector para almacenar el PV, inicia en 0

scene=figure; %se crea una figura para realizar la graficas de PV y CV
dimens=get(0,'ScreenSize');%obtiene las dimensiones de la pantalla
set(scene,'position',dimens);%establece las caracteristicas de la presentación grafica
plot(t,PV,'b','LineWidth',2);hold on %grafica la variable PV con ancho de linea 2 y color azul
plot(t,CV,'r','LineWidth',2);legend('PV','CV');grid on;

COM='COM4'; %definición del puerto com para la comunicación


delete(instrfind('Port',(COM)));% borra el COM3 para luego establecerlo
arduinoSerial=serial(COM,'Baudrate',9600); %creación del objeto para la comunicación
fopen(arduinoSerial); %inicia el objeto para la comunicación
pause(3); %establece una pausa de 3 segundos para esperar la correcta comunicación

for k=1:Q
    tic %inicia el cronómetro
    if t(k)>=3 %si se cumple la condición se establece el CV a 255 del pwm
        CV(k)=255;
    end
    fprintf(arduinoSerial,'%s\n',num2str(CV(k)),'sync');%establece el formato para el envio por la comunicación
    PV(k)=fscanf(arduinoSerial,'%f\n');%lectura de datos desde el arduino
    clf %borra la figura
    plot(t(1:k),PV(1:k),'b','LineWidth',2);hold on %realiza el ploteo de la señal
    plot(t(1:k),CV(1:k),'r','LineWidth',2);legend('PV','CV');grid on;
    drawnow %actualiza la imagen de las señales y realiza una animación de movimiento


    while toc<ts %finaliza el cronómetro hasta que se cumpla la condición
        end
end
fprintf(arduinoSerial,'%s\n',0,'sync');%Establece la comunicación y envia el valor 0 al pwm
fclose(arduinoSerial);%cierra la comunicación con el arduino

save('Data','CV','PV'); %guarda los datos en el archivo data
```


Anexo 8. Hoja de datos técnicas de la batería



6FM60D-X12V 60Ah(20h)



Las baterías recargables son sistemas de plomo-dióxido de plomo. El electrolito de ácido sulfúrico diluido es absorbido por separadores y placas y, por lo tanto, inmovilizado. En caso de que la batería se sobrecargue accidentalmente produciendo hidrógeno y oxígeno, las válvulas unidireccionales especiales permiten que los gases escapen, evitando así una acumulación excesiva de presión. De lo contrario, la batería está completamente sellada y, por lo tanto, no requiere mantenimiento, es a prueba de fugas y se puede utilizar en cualquier posición.



Construcción de baterías

Componente	Placa positiva	Placa negativa	Envase	Cubrir	Válvula de seguridad	Terminal	Separador	Electrolito
Materia prima	Dióxido de plomo	Grafita	Plástico	Plástico	Goma	Pb	Fibra de vidrio	Ácido sulfúrico

Características generales

- Tecnología Absorbent Glass Mat (AGM) para una recombinación de gas eficiente de hasta un 99 % y ausencia de electrolitos mantenimiento o adición de agua.
- No restringido para el transporte aéreo: cumple con la disposición especial A67 de IATA/ICAO.
- Componente reconocido por UL.
- Se puede montar en cualquier orientación.
- Rejilla de aleación de calcio y estaño diseñada por computadora para alta densidad de potencia.
- Larga vida útil, aplicaciones flotantes o cíclicas.
- Funcionamiento sin mantenimiento.
- Baja autodescarga.

Características de presentación

Voltaje nominal	12V
Número de celda	6
Vida de diseño	10 años
Capacidad Nominal 77°F(25°C)	
Tasa de 20 horas (3,00 A, 10,8 V)	60Ah
Tasa de 10 horas (5,87 A, 10,8 V)	58,7Ah
Tasa de 5 horas (10,6 A, 10,5 V)	53,0Ah
Tasa de 1 hora (40,4 A, 9,6 V)	40,4Ah
Resistencia interna	
Batería totalmente cargada 77°F(25°C)	≤7,0 mOhmios
Autodescarga	
3% de capacidad disminuida por mes a las 20°C (promedio) Rango de temperatura de funcionamiento	
Descarga	-20-60°C
Cobrar	-10-60°C
Almacenamiento	-20-60°C
máx. Corriente de descarga 77°F(25°C)	600A(5s)
Corriente de cortocircuito	1450A

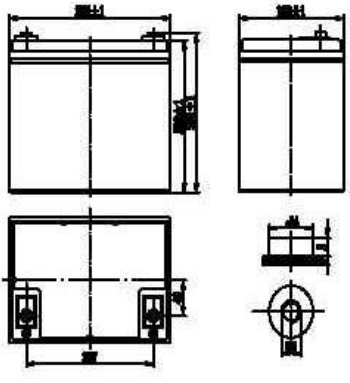
Métodos de carga: carga de voltaje constante 77°F(25°C)

Uso cíclico	2,40-2,45 VPC
Corriente de carga máxima	18A
Compensación de temperatura	-30mV/°C
Uso en espera	2,20-2,30 VPC
Compensación de temperatura	-20mV/°C

Dimensiones y peso

Longitud (mm / pulgada)	258 / 10,16
Ancho (mm / pulgada)	166 / 6,54
Altura (mm / pulgada)	206 / 8,11
Altura total (mm/pulgadas)	215 / 8,46
Aprox. Peso (Kg / libras)	24 / 52,9

* Desviación de peso: ± 3%



Corriente constante de descarga (amperios a 77°F25°C)

punto final voltaje/celda	1hr	2hr	3hr	4hr	1h	2hr	3hr	10h	20h
1,60 V	143	112	65,4	49,3	40,4	16,5	11,3	5,98	3,08
1,65 V	138	107	63,4	47,9	38,8	16,1	11,0	5,96	3,06
1,70 V	128	102	61,5	46,7	38,6	16,1	10,8	5,93	3,04
1,75 V	118	96,5	59,4	45,3	38,3	15,8	10,6	5,90	3,02
1,80 V	108	89,3	57,3	44,0	36,1	15,0	10,4	5,87	3,00

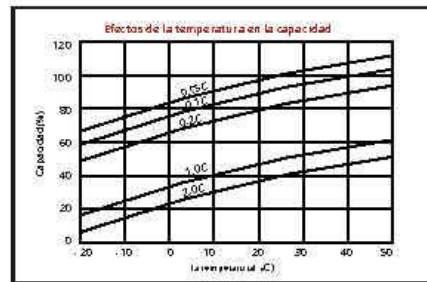
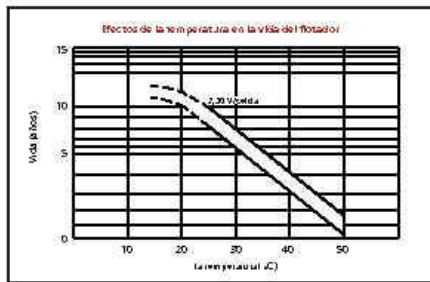
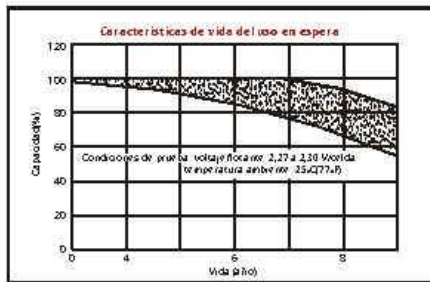
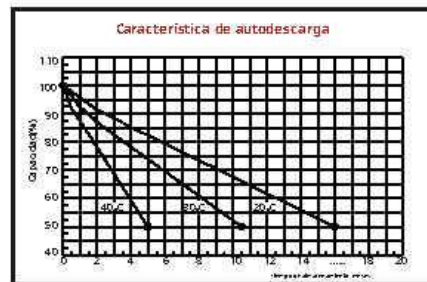
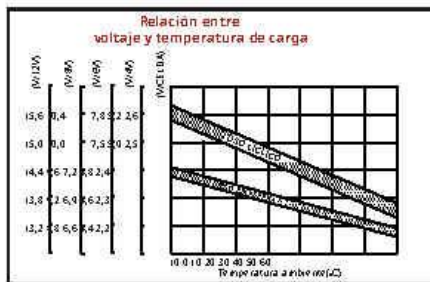
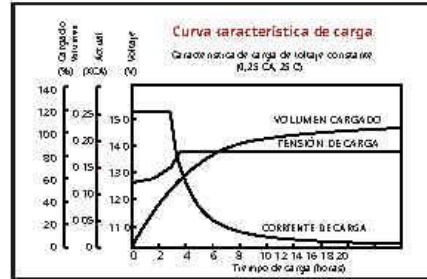
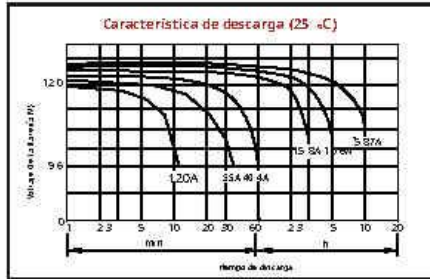
Potencia constante de descarga (vatios a 77°F25°C)

punto final voltaje/celda	1hr	2hr	3hr	4hr	1h	2hr	3hr	10h	20h
1,60 V	249	194	119	92,3	76,5	43,9	32,7	22,1	
1,65 V	238	184	113	90,8	74,7	43,0	32,5	22,0	
1,70 V	225	182	111	88,9	73,0	42,1	31,8	21,6	
1,75 V	212	178	109	87,0	71,3	41,2	31,1	21,3	
1,80 V	197	169	106	86,2	70,0	40,3	30,4	20,7	

(Nota) Los datos de características anteriores son valores promedio obtenidos dentro de tres ciclos de carga/descarga, no los valores mínimos. Todos los datos se cambiarán sin previo aviso, Vision se reserva el derecho de explicar y actualizar la información aquí contenida.

Página 1 de 2

www.vision-batt.com



100% ONLINE

ISO 9001

CE 11996-002-016

www.vision-batt.com

Tecnología de energía del centro de Shenzhen Co., Ltd.
Parque Industrial Center Power, Distrito Industrial de Fong'a Ciudad de Taneng, 518120 Shenzhen, China
Tel: (+86-755) 8431 9088 Fax: (+86-755) 8431 9038 Correo electrónico: sales@vision-batt.com

Anexo 9. Hoja de datos técnicas del panel solar









SOLAR MODULE EGE-200P-72 POLYCRYSTALLINE MODULE 200 W / 72 Cells / 5 Bus bars



Eco Green Energy's modules are only made of grade A solar cells with a very high efficiency and ensured more than 25 years lifespan.

KEY FEATURES

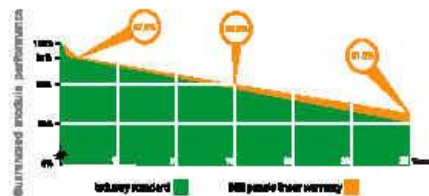
-  5 bus bars cells, with efficiency up to 21 %
-  IP67 junction box for long term weather endurance
-  High quality aluminum frame, resisting load up to 5400 Pa and wind pressure up to 2400 Pa
-  High transmissivity, low-iron tempered glass
-  High performance in low-light environment
-  Double EL test before and after lamination

CERTIFICATES

IEC 61215 / IEC 61730 / CE
ISO 9001:2015

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12-Year Product Warranty · 25-Year Linear Power Warranty



-  **25 YEARS** OUTPUT POWER WARRANTY
-  **12 YEARS** PRODUCT WARRANTY



ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	200 W
Power tolerance	0~+5 W
Module efficiency	15.27 %
Maximum power voltage (Vmp)	19.14 V
Maximum power current (Imp)	10.45 A
Open circuit voltage (Voc)	23.31 V
Short circuit current (Isc)	11.41 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m²
Cell temperature: 25 °C • AM:1.5

ELECTRICAL DATA AT NOCT*

Power output (Pmax)	147.96 W
Maximum power voltage (Vmp)	17.67 V
Maximum power current (Imp)	8.36 A
Open circuit voltage (Voc)	21.64 V
Short circuit current (Isc)	9.26 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m²
Ambient temperature: 20 °C • AM:1.5 • Wind speed:1 m/s

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31 %/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

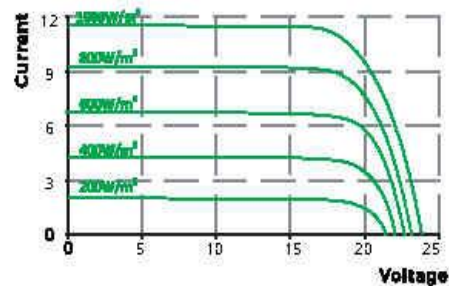
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45 °C ~ +85 °C
Maximum system voltage	1500 V
Max series fuse rating	15 A
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

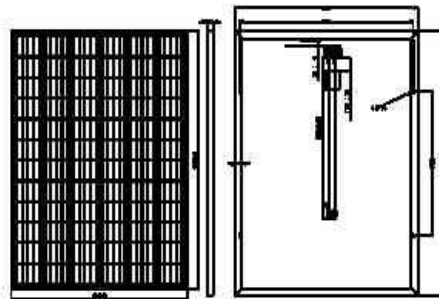
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156.75x104 mm)
Number of cells	72
Dimensions	1320x992x35mm
Weight	15.0 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP67
Cable	0.9 m
Connector	MC4 or MC4 compatible

I-V CURVES



ENGINEERING DRAWINGS (mm)



PACKAGING

Type	Pcs/ Type	Weight
Per pallet	30 pcs	480 kg
20ft GP Container	460 pcs	7.4 t
40ft GP Container	1000 pcs	16.0 t
40ft HQ Container	1150 pcs	18.4 t



Eco Green Energy Group Ltd. 2019. All rights reserved.
Add: 299 Xing Cheng Road, Chang Chuan District, Nanlong
Jiangsu, China
Tel: +86 513 6690089 / E-mail: info@ecogreenenergy.com

Specifications included in this datasheet are subject to change
without prior notice. Refer to our website for further information
or contact one of our sales staff
www.ecogreenenergy.com



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SANCHEZ HUERTAS CARLOS ENRIQUE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico prototipo con control angular para uso como módulo educativo en SJL", cuyo autor es TAPIA MARTEL JHONNY MEYSS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de %, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 02 de Agosto del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SANCHEZ HUERTAS CARLOS ENRIQUE : 17857234 ORCID: 0000-0002-6754-8017	Firmado electrónicamente por: CSANCHEZH55 el 02-08-2022 08:08:27

Código documento Trilce: INV - 1014497