

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**SEGUIDOR SOLAR DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA
ELECTRIFICACIÓN RURAL AISLADA CON AVISO
PREVENTIVO DE MANTENIMIENTO**

Tesis para optar el Título de INGENIERO MECATRÓNICO, que presenta el bachiller:

Paulo Cesar Mancco Leandro

ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna

Lima, Junio de 2015

Resumen

La falta de electrificación rural en el Perú ha sido uno de los problemas sociales más importantes y menos trabajados desde hace varios años. Debido a la difícil y costosa tarea de generar y distribuir electricidad por medio de torres de alta tensión, en ciertas zonas del país (zonas de electrificación aislada); se consideró invertir en el uso de energías renovables que no sean costosas y permitan al poblador contar con la energía suficiente para mejorar su condición de vida.

Una de las energías renovables de mayor uso es la energía solar por su fácil manejo y acceso. Ésta se puede recolectar por medio de paneles fotovoltaicos que generan electricidad, la cual se puede almacenar en un banco de baterías para su uso en caso de no disponer del sol. Además para mejorar el rendimiento de la generación de energía, se puede implementar un seguidor solar que permite orientar los paneles fotovoltaicos en dirección a la posición del sol la mayor parte del día.

El presente trabajo tiene como finalidad, diseñar un sistema mecatrónico que permita situar dos paneles fotovoltaicos en dirección a la posición del Sol. Esto con el fin de aprovechar de la mejor manera los niveles de radiación que inciden en los paneles solares, buscando obtener mayor energía para el consumo del hogar. Además, el sistema es capaz de informar sobre los problemas típicos, como lo son la suciedad de los paneles y las fallas técnicas del inversor, que pueden o no ser solucionadas por el usuario. En caso estas fallas existan el sistema pasará a mostrar al usuario una señal que le informará que el sistema mecatrónico requiere de un mantenimiento lo antes posible. Se tiene como objetivo que el sistema mecatrónico no sea de un precio elevado para su producción e instalación en zonas aisladas del Perú.

Índice

1. Problemática y antecedentes.....	4
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	6
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	6
2.2 Concepto de la solución.....	7
3. Sistema mecatrónico.....	10
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	10
3.2 Sensores y actuadores.....	12
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	16
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	25
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	27
4. Presupuesto.....	31
5. Conclusiones.....	33
Bibliografía.....	34

Capítulo 1

Problemática y antecedentes

En el Perú desde el 2012 se está llevando a cabo un plan para la electrificación de zonas rurales, llevado a cabo por el Ministerio de Energía y Minas, donde las tecnologías clásicas de electrificación no son viables. Como se aprecia en la figura 1.1, de la zona rural que aún no están electrificada, 0.28 millones de las viviendas forman parte del plan de electrificación rural por energías renovables [1].

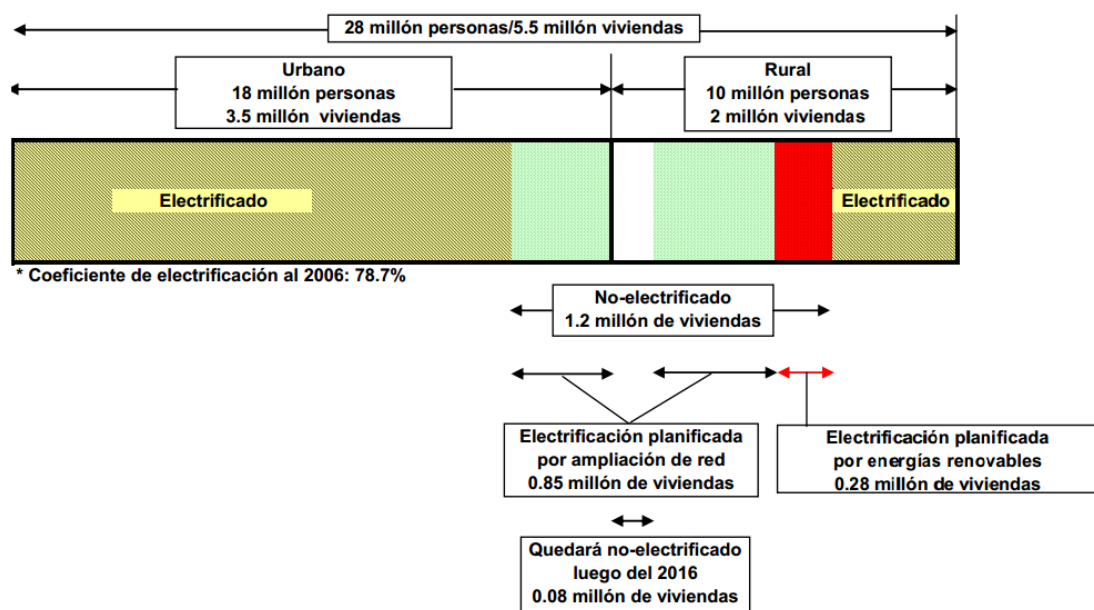


Figura 1.1 Plano de electrificación de las viviendas en el Perú

Una vez identificada la cantidad de población que se verá beneficiada con este plan maestro, se elaboraron al detalle las medidas a emplearse. Tomando referencias desde el año 2008, año cuando se inició este proceso, hasta el año 2020 (periodo espera de fin del proyecto); el plan maestro se divide en 4 fases. La primera, periodo de infraestructura, que se destinará a establecer infraestructura institucional. La segunda, periodo de electrificación inicial, en estos años las empresas se familiarizarán con la instalación de los paneles fotovoltaicos. La tercera, periodo de desarrollo de electrificación, en este periodo se instalarán alrededor de 30 mil paneles solares al año, para así poder llegar a la meta establecida. Por último, la cuarta fase, periodo de conclusión de electrificación para considerar la posibilidad de electrificar las viviendas dejadas no-electrificadas. Se presenta un resumen de lo descrito en la figura 1.2.

		Fase I (Período de infraestructura)			Fase II (Período de electrificación inicial)		Fase III (Período de desarrollo de electrificación)					Fase IV (Período de conclusión de electrificación)		Total	
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		2020
No. de viviendas por electrificar	Solar				10000	20000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	21520	261520
	Hídrico						1930	2006	1840	1085	3551	8086			18498
	Total				10000	20000	31930	32006	31840	31085	33551	38086	30000	21520	280018

Figura 1.2 Tabla de las cuatro fases de la electrificación

Con la información presentada se puede notar que se está proyectando a la instalación de 30 000 unidades de paneles solares al año; lo cual, según, estudios sería complejo y requeriría nuevas formas de instalar y poner en marcha la electrificación por medio de los paneles solares. Para esto se consiguió que las empresas involucradas en la fabricación e instalación de los paneles solares inviertan en el desarrollo de nuevas tecnologías de fácil instalación y que permitan aumentar el rendimiento de cada panel solar instalado, para poder así generar mayor cantidad de electricidad y por ende reducir costos.

Otra de las causas del bajo rendimiento de los paneles solares son las fallas técnicas que presentan los sistemas convencionales. El usuario no puede tener la certeza de que el panel no está dañado o produciendo un nivel bajo de energía. Las principales fallas son dos: acumulación de suciedad y fallas en el inversor, equipo que transforma la energía de DC a AC. Estos tipos de problemas se les plantean a los usuarios como advertencias y recomendaciones escritas, que en muchos casos estos tienden a olvidar o dejar de lado.

Este trabajo está enfocado en el desarrollo de un sistema mecatrónico que presente una nueva solución a la problemática antes descrita, la de generar paneles que sean fáciles de instalar, de alto rendimiento y que permitan predecir e informar al usuario cuándo requieren de un mantenimiento por limpieza de panel o fallas en el inversor. Esto con el propósito de que cualquier empresa pueda implementar este proyecto para el apoyo en la electrificación rural en el Perú.

Capítulo 2

Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

En la figura 2.1 se puede apreciar un agrupamiento de los criterios de acuerdo a 3 objetivos principales: (1) seguridad, el usuario debe poder usar el sistema con bajas probabilidades de sufrir algún accidente, (2) bajo costo, debido al mercado objetivo no se debe exceder de cierto límite de gastos; además de buscar recuperar la inversión en el menor tiempo posible, y (3) rendimiento, se espera que este proyecto pueda cubrir todas las necesidades planteadas de la forma más eficiente posible.

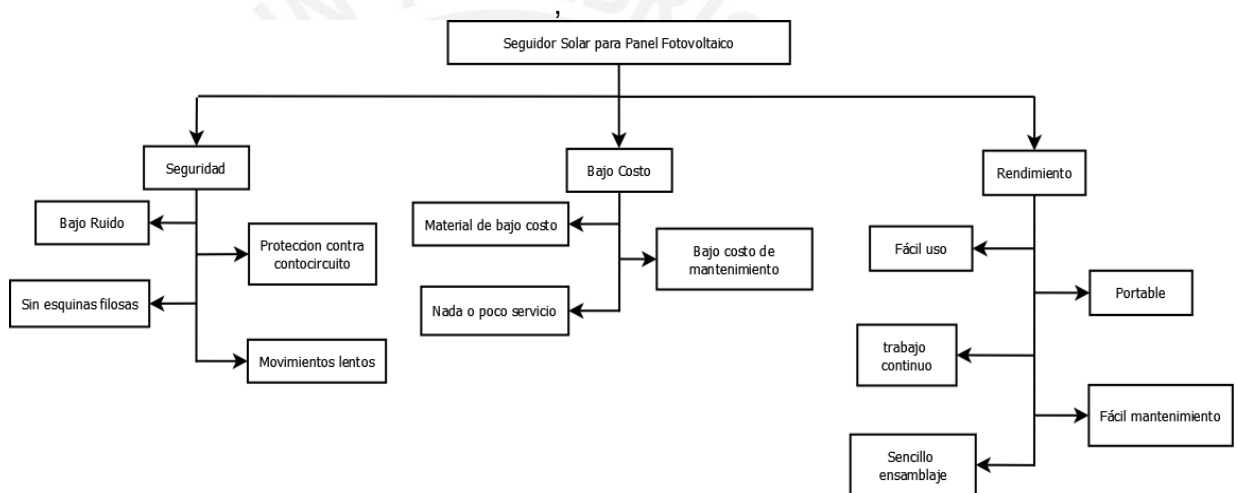


Figura 2.1 Cuadro de requerimientos en tres categorías

Para poder satisfacer todos los requerimientos planteados se espera contar con:

Requerimientos mecánicos:

- Debe ser capaz de soportar 2 paneles solares (Anexo 1), los cuales tienen un peso de aproximadamente 22 kg.
- Diseño adecuado para sostenerse y poder desplazar los paneles alrededor de un eje.
- Con una capa de pintura epóxica para evitar la corrosión por su exposición al medio ambiente.
- Totalmente ensamblado por tornillos, arandelas y tuercas; esto, para evitar costos de soldadura y sea posible ensamblar fácilmente.
- Que cuente con un mecanismo para posicionar los paneles siempre orientados a la posición del Sol.
- Sistema mecatrónico que como mínimo cuente con un grado de libertad (Anexo 6).

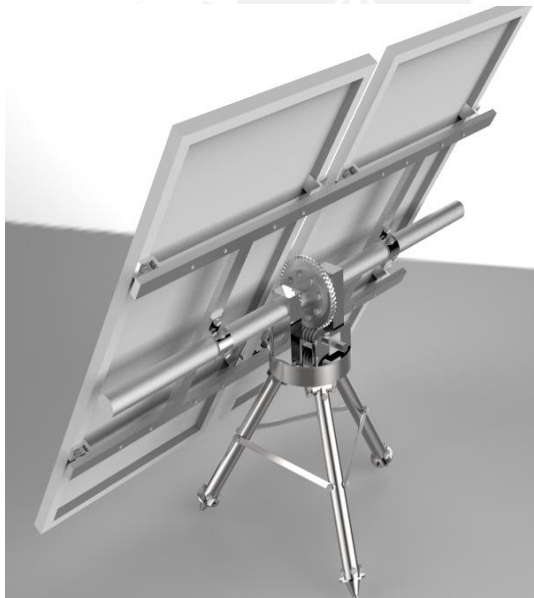
Requerimientos eléctricos-electrónicos:

- Todo el sistema mecatrónico debe ser alimentado por la energía generada por los paneles solares a 12 VDC.
- Se espera generar un mínimo de 1 kW
- Toda la distribución de la energía será por cables que puedan soportar el amperaje pico.
- Poseer un banco de baterías que permitan tener energía suficiente para poder estar energizado en los momentos que no se encuentre habilitada la fuente de energía, el sol.
- Mediante pocos sensores, máximo 5, pueda reconocer cuando los paneles solares requieren de mantenimiento.

Requerimientos de control:

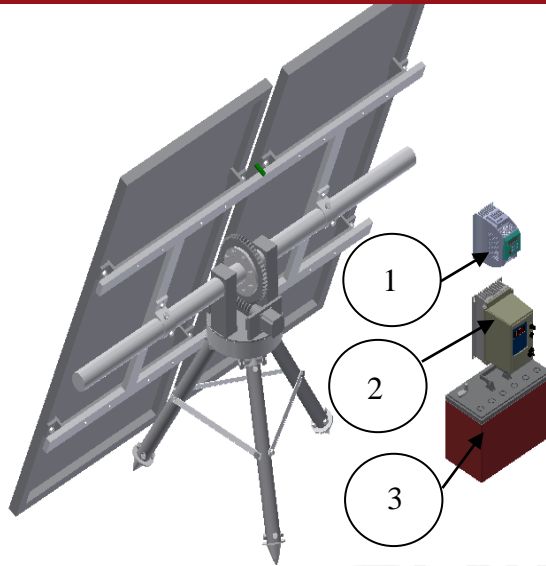
- El sistema debe de contar con un solo controlador. Este debe determinar la mejor orientación del panel a través de cálculos (Anexo 2) y por sensores.
- El sistema debe ser capaz de captar las señales e interpretarlas y poder calcular de manera efectiva las señales que se enviarán a los actuadores.

2.2 Concepto de la solución



La figura 2.2 muestra la estructura mecánica del sistema mecatrónico propuesto en una vista isométrica. En ésta se puede apreciar la sujeción de 2 paneles solares por medio de una estructura que cuenta con 2 sujetadores. Estos sujetadores unen la estructura a un eje que presenta una corona en la parte media, la misma que es movida por un tornillo sin fin que se encuentra acoplado a un motor a pasos. Tanto el panel, como la estructura de sujeción de paneles, y el eje con rueda dentada, están soportados por una base de acero tipo trípode.

Figura 2.2 Vista isométrica de la estructura mecánica del sistema mecatrónico



En la figura 2.3 se puede apreciar los componentes eléctricos y electrónicos de la solución descrita. Un regulador (1), un inversor (2) y una batería (3). El uso de estos 3 componentes permite distribuir, almacenar y regular la energía eléctrica que será usada en el hogar; se encontrarán instalados en el interior del hogar y conectados al sistema mecatrónico mediante cableado eléctrico.

Figura 2.3 Vista isométrica con componentes eléctricos a situarse en el hogar

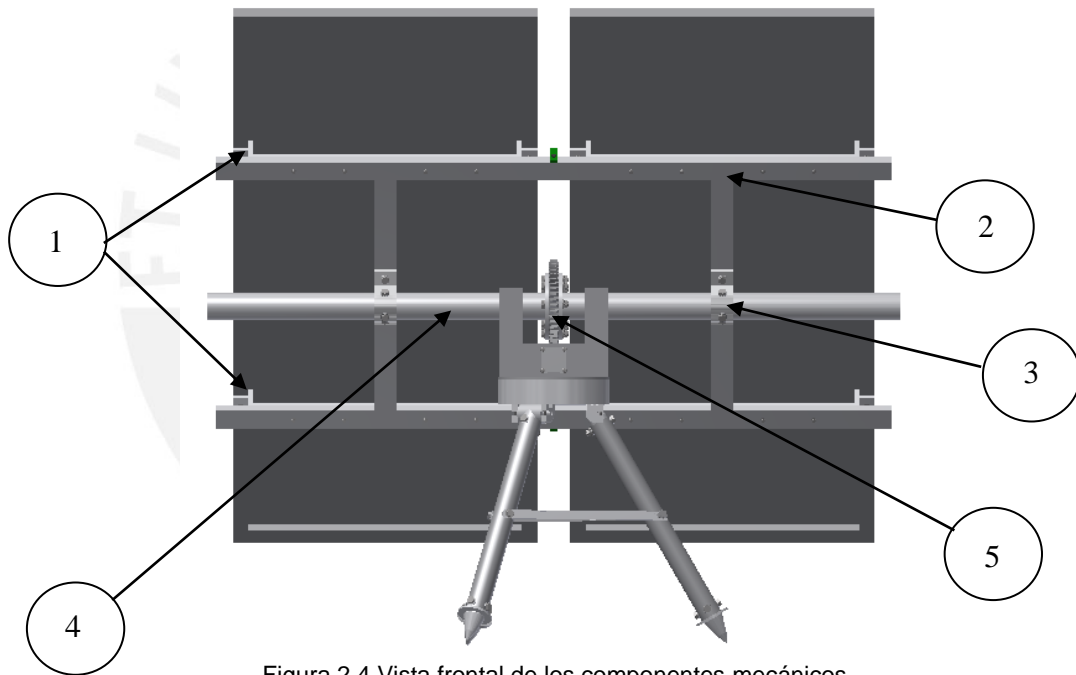


Figura 2.4 Vista frontal de los componentes mecánicos de los paneles solares del sistema mecatrónico

En la figura 2.4 se detallan las piezas mecánicas que conforman la sujeción y permiten el movimiento de los paneles solares del sistema mecatrónico. Se puede apreciar como a través de cuatro apoyos (1) se están sosteniendo dos paneles solares que se unen a una estructura de aluminio (2). Ésta a su vez, mediante unas abrazaderas (3) está sujetando a un eje (4) que atornillado a un sistema corona-tornillo sin fin (5) permite mover los dos paneles atraes de un motor a pasos en la dirección a la posición del sol.

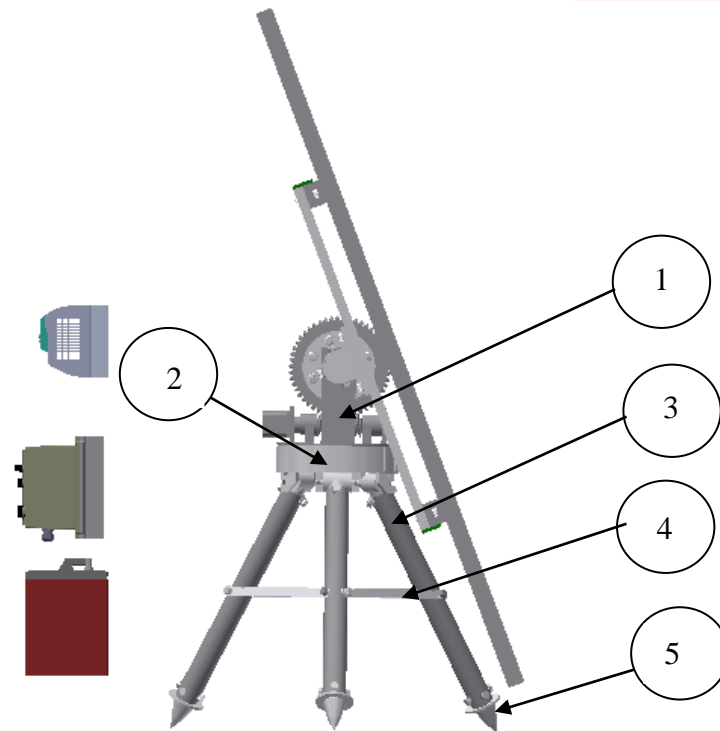


Figura 2.5 Vista lateral de los componentes mecánicos de soporte del sistema mecatrónico

En la figura 2.5 se detallan las partes mecánicas encargadas de mantener sujeto el sistema mecatrónico para que éste pueda realizar su trabajo sin ningún esfuerzo excesivo de carga. El sistema mecatrónico cuenta con todo un ensamblaje (1) diseñado para sujetar el sistema corona-tornillo sin fin y los ejes que permiten darle movimiento a los paneles solares. Se encuentra todo sujeto por una base (2) que permite distribuir todo el peso. Todo se encuentra soportado por un trípode (3); además, para evitar el deslizamiento se conectan las patas del trípode por medio de una varilla (4), que puede regularse por sujeción de un perno. Debido a que el seguidor solar se posicionará en un terreno irregular se cuenta con unas patas especiales para mantenerse estable (5).

Capítulo 3

Sistema mecatrónico

3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

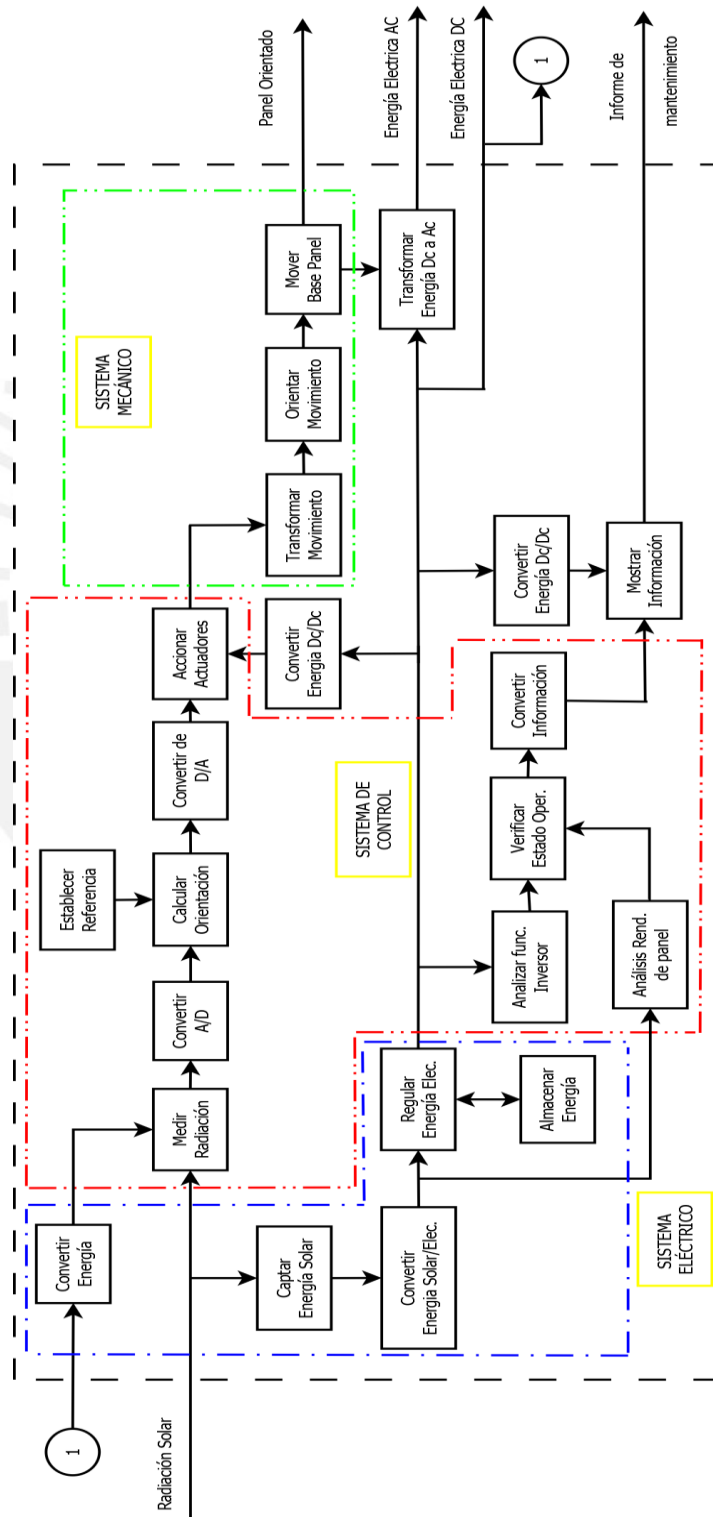


Figura 3.1.1 Diagrama de funciones del sistema mecatrónico

En la figura 3.1.1 se muestra el diagrama de funcionamiento total del sistema, haciéndose evidentes las funciones electrónicas, mecánicas y de control. Como entrada a todo el sistema se tiene la radiación solar y energía eléctrica DC, esta última, como se aprecia en el diagrama, se obtiene de la salida del mismo sistema; la energía eléctrica DC viene del regulador, que puede ser alimentado por la energía de los paneles solares o por las baterías. La energía eléctrica se usa para alimentar a todos los componentes electrónicos y eléctricos de los sistemas de control y como salida del sistema, para el consumo del hogar. La radiación solar es captada por los paneles solares y por los sensores LDR, y es usada por estos de las siguientes formas:

Primero, por los paneles solares, que convierten en energía eléctrica la energía solar que captan; parte de esta energía pasa a ser almacenada previa regulación y posteriormente será usada en el consumo eléctrico del hogar. En la entrada del regulador e inversor se ubican sensores que permiten verificar si el rendimiento del panel aún se mantiene en rangos aceptables y si el inversor no ha sufrido alguna falla que inhabilite su uso. En caso se detecte alguna falla, se procederá a mostrar esta información al usuario dentro del hogar. Además, para la alimentación de ciertos circuitos eléctricos se pasa de 12 VDC a 5 VDC.

Segundo, por los sensores LDR, que miden la radiación en dos diferentes puntos del panel y permiten ofrecer una segunda aproximación a la orientación de los paneles. Para la primera aproximación se usa una referencia que permite calcular la posición del panel solar dependiendo de la hora del día; la segunda aproximación, lee los valores de los sensores LDR (cada uno en un extremo del panel) y con esto verifica que el panel este recibiendo la misma cantidad de radiación en toda su superficie. Con estas dos aproximaciones se calcula una orientación final de los paneles. Con este valor se pasa al “sistema mecánico” que por actuadores y transmisores de movimiento orientan a los paneles solares a la mejor posición para captar la radiación solar.

Finalmente, se obtiene como salida los paneles solares orientados, la energía eléctrica AC, energía eléctrica DC y un informe de mantenimiento.

3.2 Sensores y actuadores

3.2.1 Sensores

3.2.1.1 Sensor de nivel de luz

Para poder determinar la orientación de los paneles solares se usará un módulo LDR (Anexo 3), posicionado en 2 puntos a la altura del panel. Con estos se podrá mejorar la posición angular de los paneles, y así captar la mayor cantidad de radiación. Se usará el módulo mostrado en la figura 3.2.1 que ya es compatible con el módulo de Arduino.



Figura 3.2.1 Módulo LDR para sensor de luz

Tabla 3.2.1 Especificaciones de módulo LDR para sensor de luz

Rango de Voltaje de entrada	3.2 V – 5 V
Salida	Digital
Temperatura de Trabajo	-25°C – 75°C

3.2.1.2 Sensor de corriente

Para determinar si el rendimiento de los paneles solares no ha sido afectado por la suciedad o por algún otro motivo externo, se dispone de un sensor de amperaje (Anexo 3), que ayuda a determinar si el panel no ha reducido su rendimiento y se debe realizar un mantenimiento.

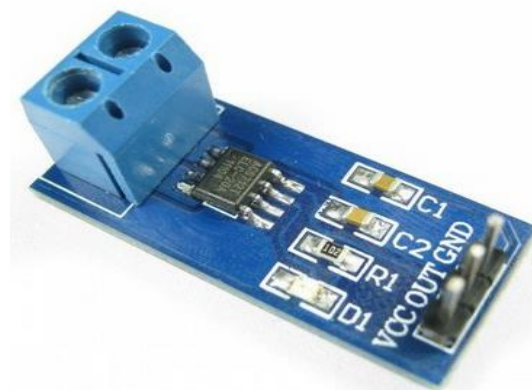


Figura 3.2.2 Sensor de corriente para Arduino

Tabla 3.2.3 Especificaciones sensor de amperaje para Arduino

Tipo de entrada	Bidireccional
Rango de corriente medible	+/- 30 A
Rango de Voltaje de entrada	4.5 V – 5.5 V
Rango de Voltaje de salida	0 – 2.5 V
Porcentaje de Error	1.5%
Temperatura de Trabajo	-40°C – 150 °C

3.2.1.3 Sensor de voltaje

Para determinar si el inversor, equipo delicado y propenso a fallas en los sistemas solares, no presentó una falla y produzca un gasto de energía adicional, o pueda producir una falla en alguna otra zona del sistema, se utilizará un sensor de voltaje (Anexo 3). Este sensor es ilustrado en la figura 3.2.3 y sus especificaciones son descritas en la tabla 3.2.4.

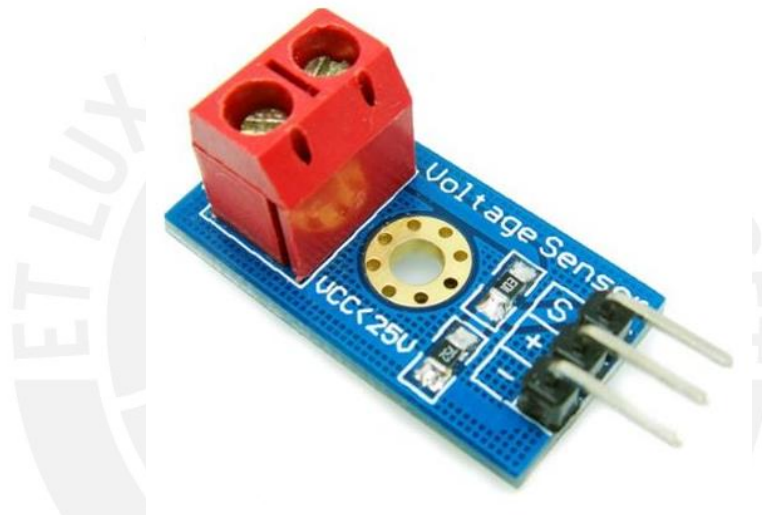


Figura 3.2.3 Sensor de voltaje

Tabla 3.2.3 Especificaciones Sensor de voltaje

Rango de voltaje de entrada	0 - 25 VDC
Rango de voltaje de detección	0.02445 – 25 VDC
Resolución de voltaje	0.00489 VDC

3.2.2 Actuadores

3.2.2.1 Motor a pasos

Para el movimiento de los paneles se usa un motor a pasos (Anexo 3), que mediante un juego de tornillo sin fin y corona logra generar el torque para mover el panel (Anexo 7). Se ha elegido el motor de la tienda virtual Pololu con las características descritas en la tabla 3.2.4.



Pololu
Figura 3.2.4 Motor a pasos bipolar

Tabla 3.2.4 Características del motor a pasos

Tipo	Motor a pasos
Tamaño	Cuadrado de 56.4 mm x 56 mm
Peso	700 g
Diámetro del eje	6.35 mm
Pasos por revolución	200
Corriente nominal	2.8 A
Voltaje nominal	2.5 V
Torque estático	13 kg.cm

3.2.3 Otros

3.2.3.1 Arduino UNO

Para el control de todo el sistema mecatrónico se usará un Arduino, el cual será el encargado de interpretar la información provista de los sensores y darle instrucciones a los actuadores. Para esto se eligió un Arduino UNO, debido a la cantidad de entradas analógicas y digitales que posee (Anexo 3.).

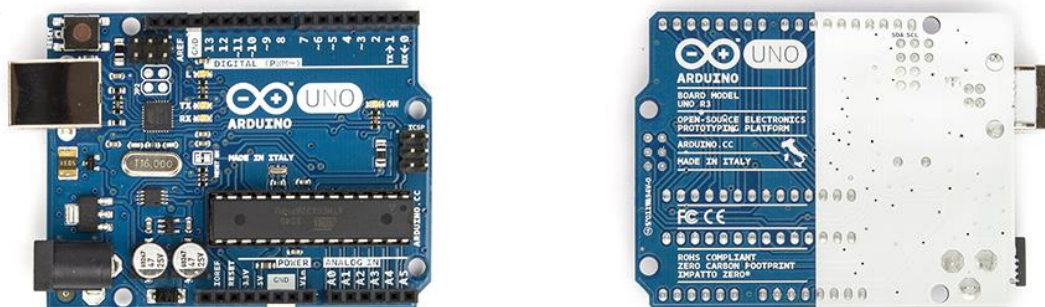


Figura 3.2.5 Controlador Arduino UNO
Tabla 3.2.5 Especificaciones Arduino UNO

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada recomendado	7-12V
I/O pines digitales	14
Pines analógicos	6

3.2.4 Ubicación de sensores y actuadores

Todos los componentes antes descritos serán ubicados en el seguidor solar que se presenta en las figuras 3.2.6 y 3.2.7. Todos serán sujetos a la estructura mecánica a través de tornillos.

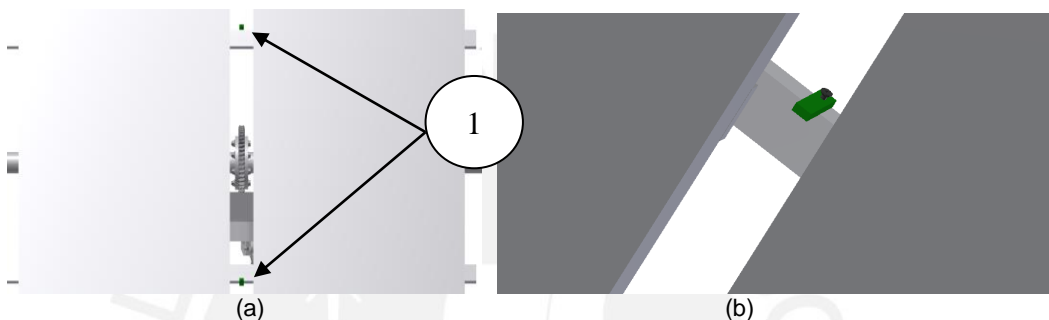


Figura 3.2.6 (a) Posición de los LDR vista general, (b) Posición de los LDR al detalle

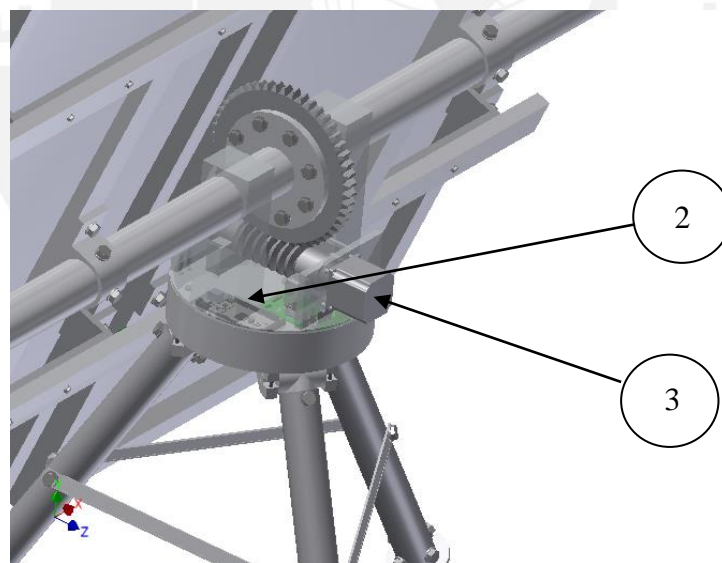


Figura 3.2.7 Posición del Arduino, sensores y el motor

En las figuras 3.2.6 y 3.2.7 se puede apreciar que en los paneles se encuentran los módulos LDR (1). Además se muestran los componentes electrónicos, protegidos dentro de la estructura (2) y la posición del motor que le dará movimiento a los paneles. Los sensores están conectados al Arduino UNO y por medio de cableado se posicionan de tal forma que puedan sentir. Todos estos componentes eléctricos serán alimentados por medio de la energía captada por los paneles solares y traídas por el regulador.

3.3 Planos del sistema mecatrónico

En la presente sección se presentarán los planos de todas las partes involucradas en la elaboración del sistema mecatrónico. Para mayor información revisar el Anexo 4.

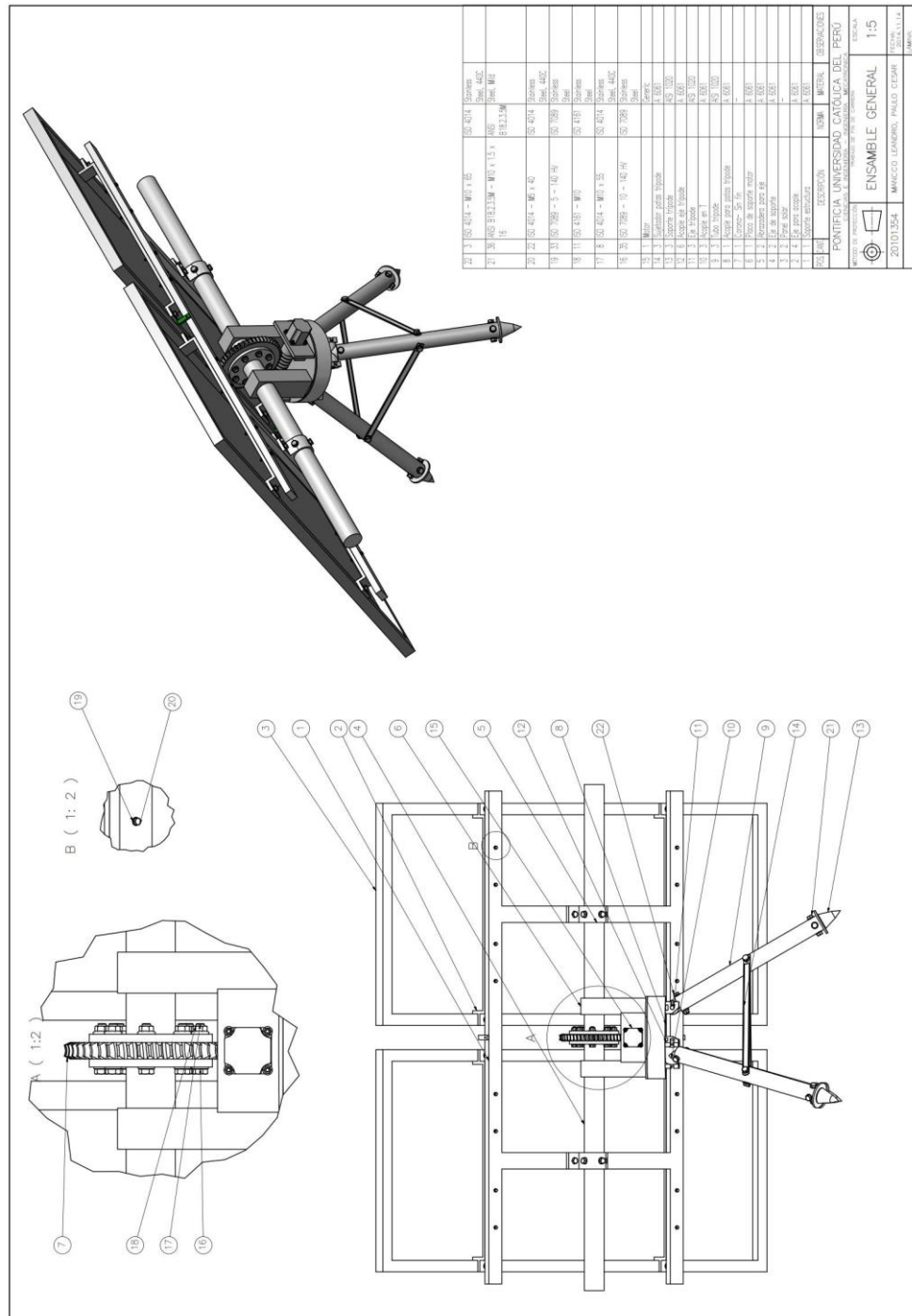


Figura 3.3.1 Plano de ensamble general del mecanismo mecatrónico

En el plano de la figura 3.3.1 se puede apreciar el ensamble de todas las piezas mecánicas del sistema mecatrónico.

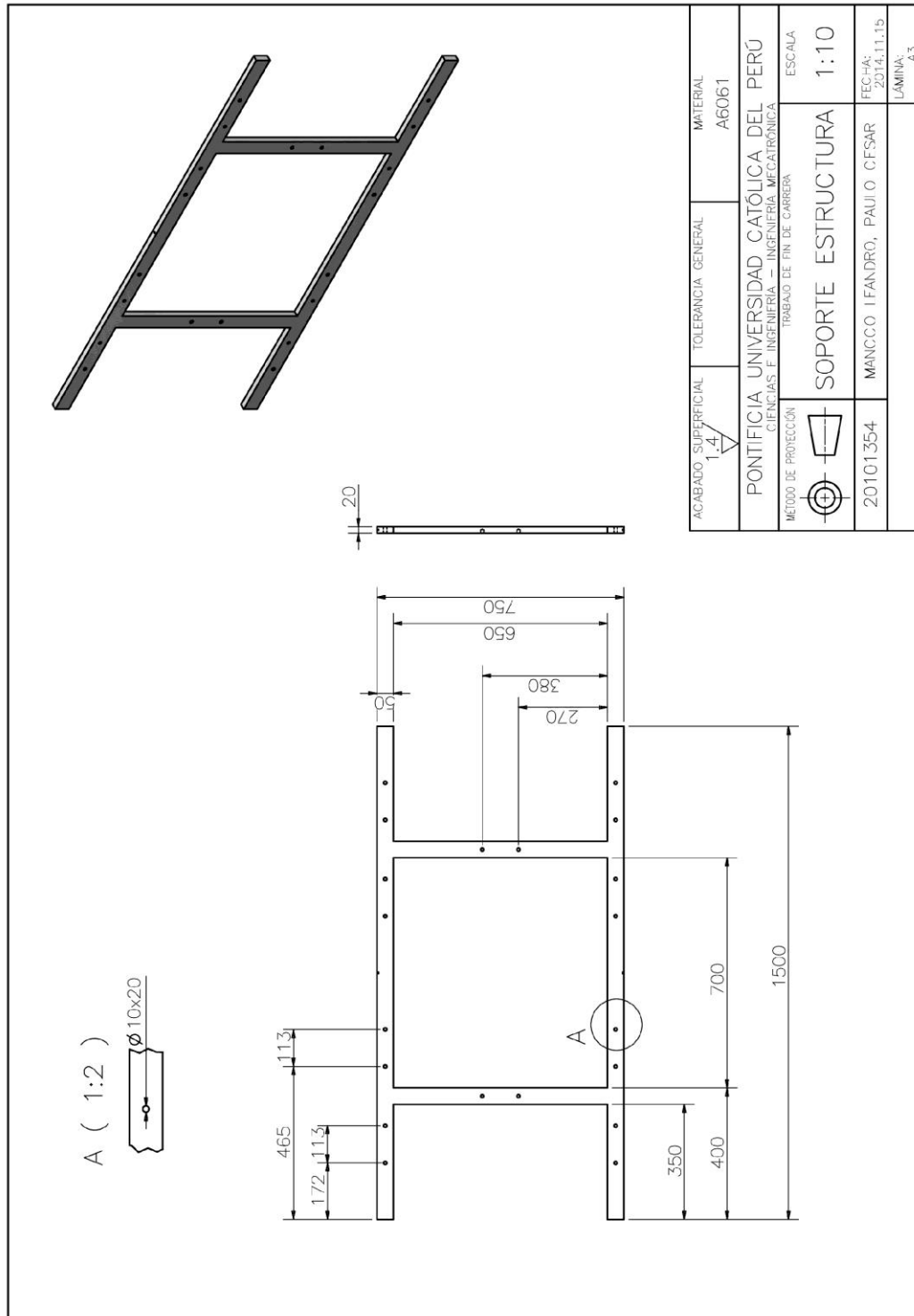


Figura 3.3.2 Plano de despiece de soporte estructura para sostener los paneles solares

La figura 3.3.2 muestra el detalle de la estructura diseñada para sostener los dos paneles solares y acoplarlos a los ejes que le darán movimiento.

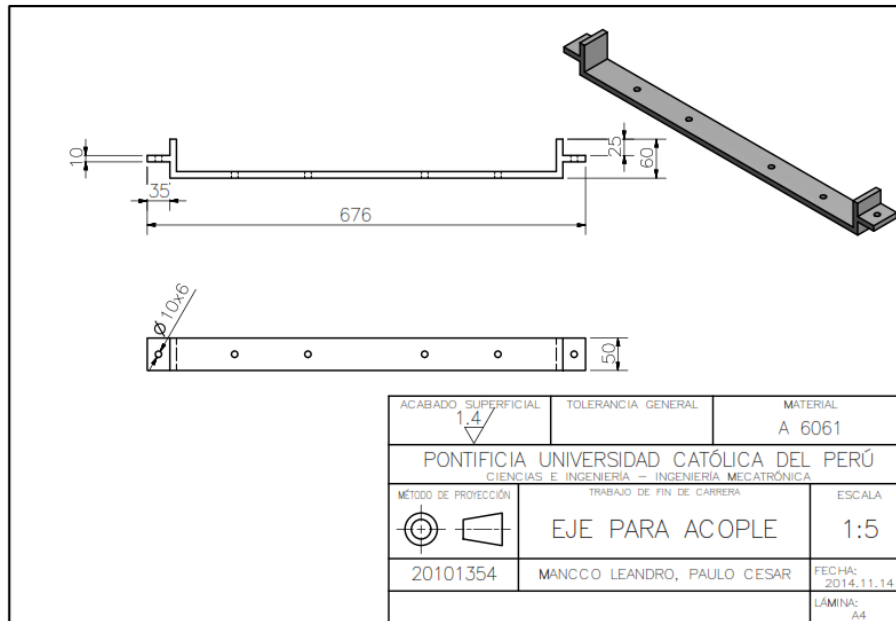


Figura 3.3.3 Plano de despiece de eje para acople de los paneles solares y el soporte estructura

La figura 3.3.3 presenta un acople que permitirá sujetar los paneles solares junto con la estructura anterior. Esto para consolidar un mismo movimiento.

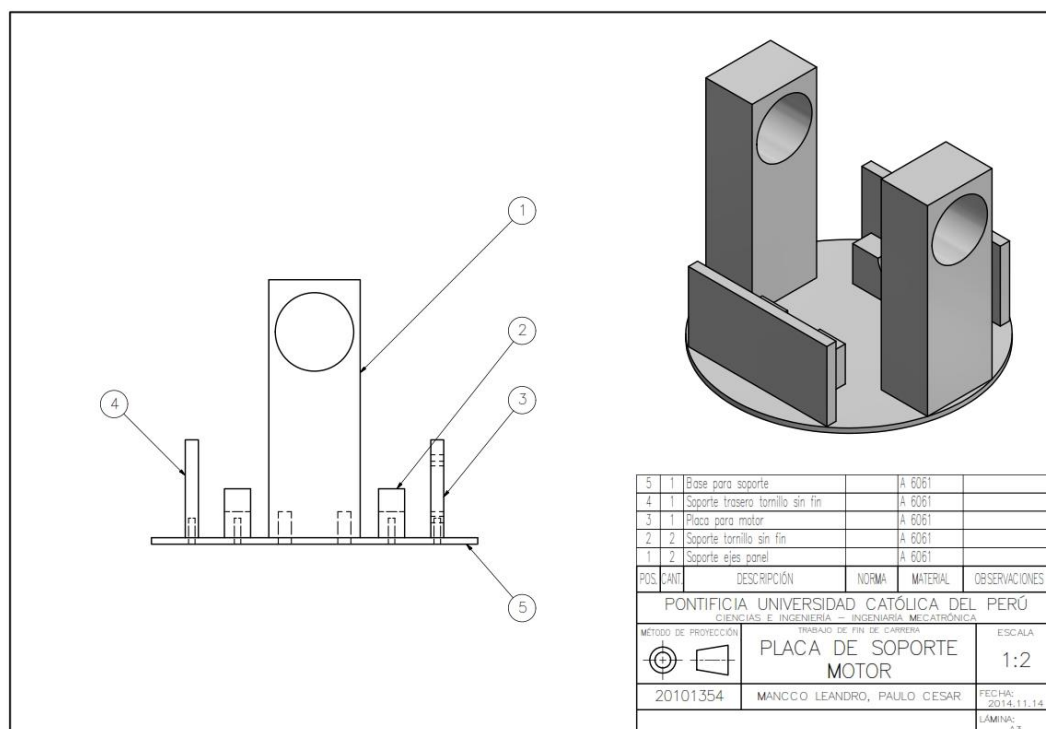


Figura 3.3.4 Plano de ensamble de soporte motor para la sujeción del tornillo sin fin-corona

La figura 3.3.4 presenta el ensamble de las piezas que forman la base que será el encargado de soportar las piezas mecánicas que le darán movimiento a los paneles a través del motor.

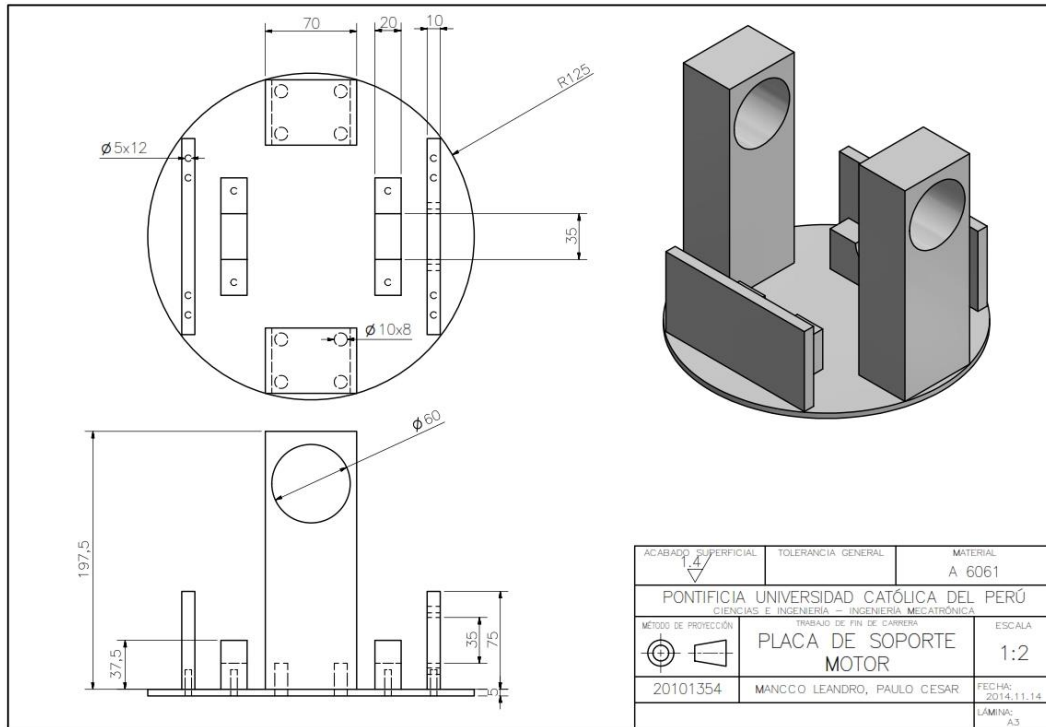


Figura 3.3.5 Plano de despiece de soporte motor para la sujeción del tornillo sin fin-corona

La figura 3.3.5 muestra el despiece con las medidas del ensamble anterior.

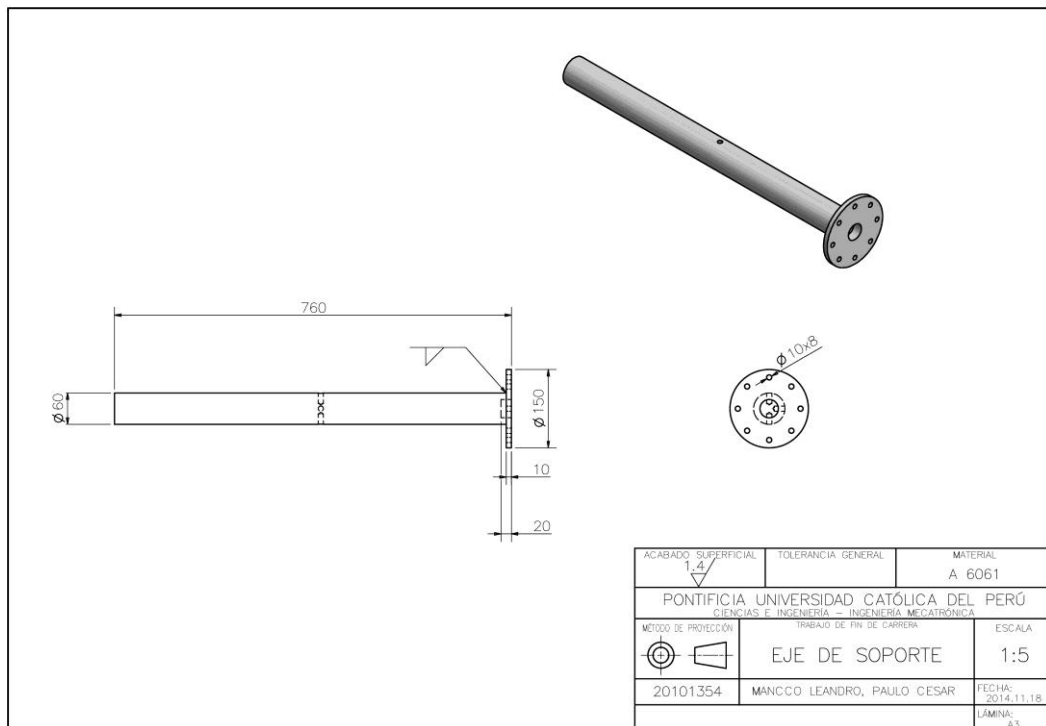


Figura 3.3.6 Plano de despiece de eje de soporte de transmisión del torque del tornillo sin-fin corona al panel solar

La figura 3.3.6 muestra el eje encargado de transmitir el torque a la estructura soporte del panel, con la finalidad de desplazar el panel solar a la posición deseada. Este se acopla a un engranaje que será el que le transmita el movimiento.

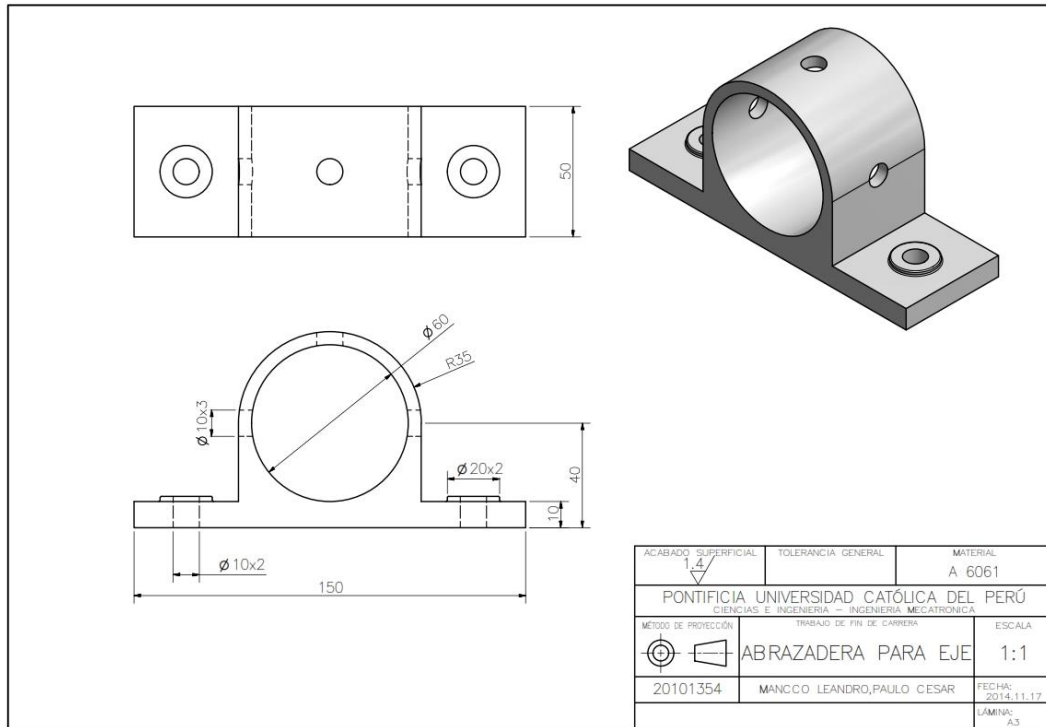


Figura 3.3.7 Plano de despiece de abrazadera para eje, para transmisión de torque al soporte estructura

La figura 3.3.7 presenta la abrazadera que fija el eje a la estructura panel. Lo cual le permite desplazarse cuando gire el eje.

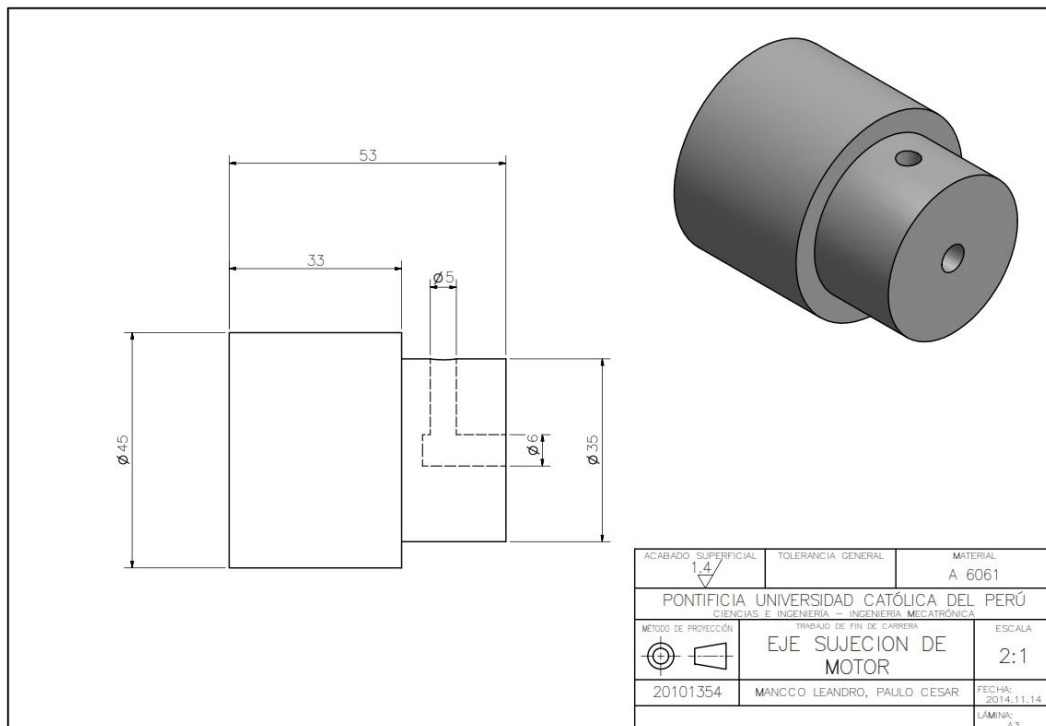


Figura 3.3.8 Plano de despiece del eje sujeción de motor para transmisión de torque

Se tiene el plano de la figura 3.3.8 que forma parte del tornillo sin fin. El eje de sujeción de motor tiene la función de sujetar el eje del motor, para poder otorgarle movimiento al tornillo sin fin.

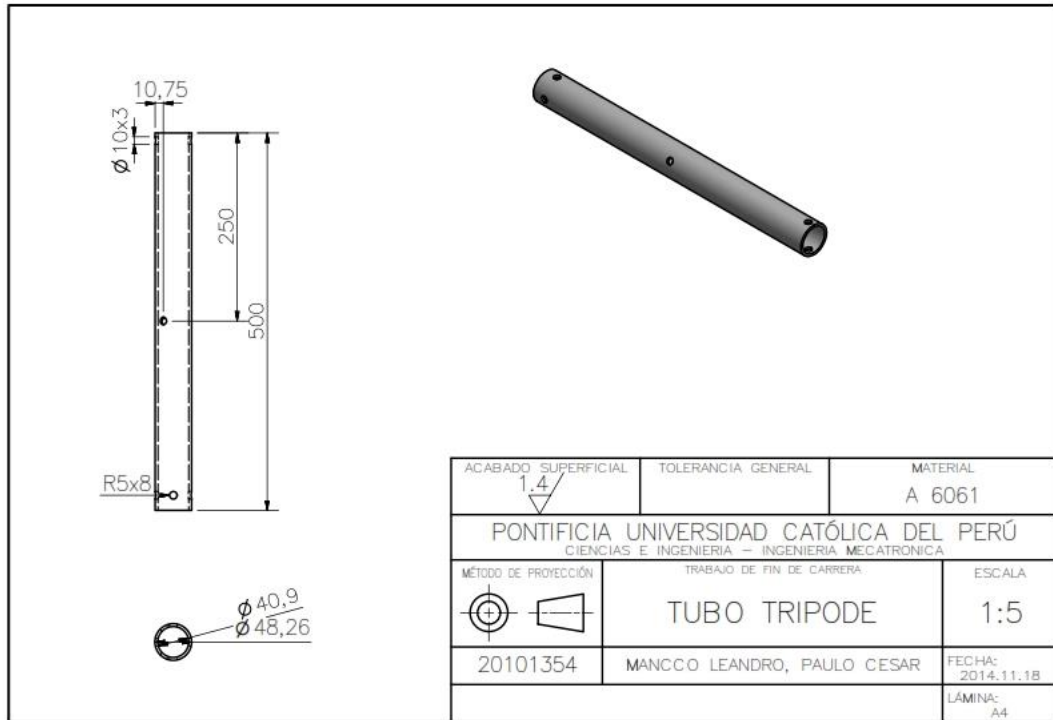


Figura 3.3.9 Plano de despiece de tubo trípode

En la figura 3.3.9 se presenta el eje que compone el trípode. Este es el encargado de soportar el peso de todos los componentes así como los paneles.

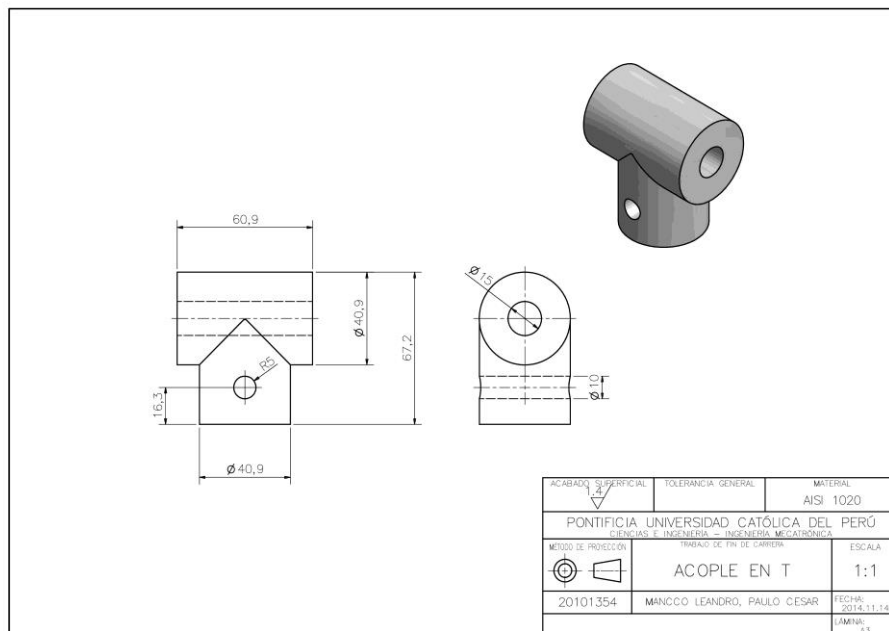


Figura 3.3.10 Plano de despiece de acople en T, para articular el trípode con la base de la estructura

Se presenta la figura 3.3.10 que muestra el plano del acople encargado de transmitir la fuerza a las patas trípode desde la placa de soporte motor.

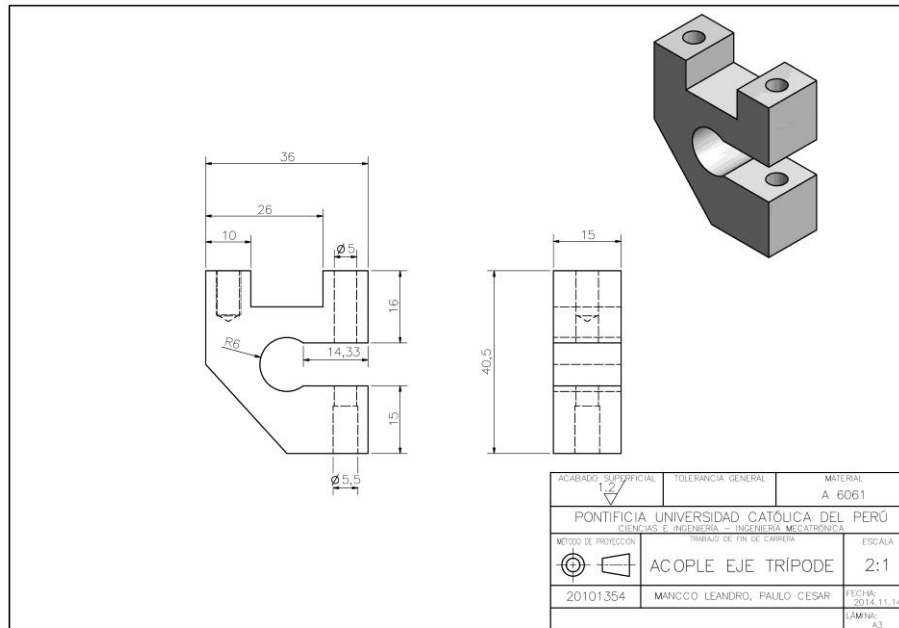


Figura 3.3.11 Plano de despiece de acople eje trípoде para unir la base de la estructura con el acople en T

El plano de la figura 3.3.11 presenta al componente encargado de la sujeción del eje y de acoplarlo a la base del soporte motor.

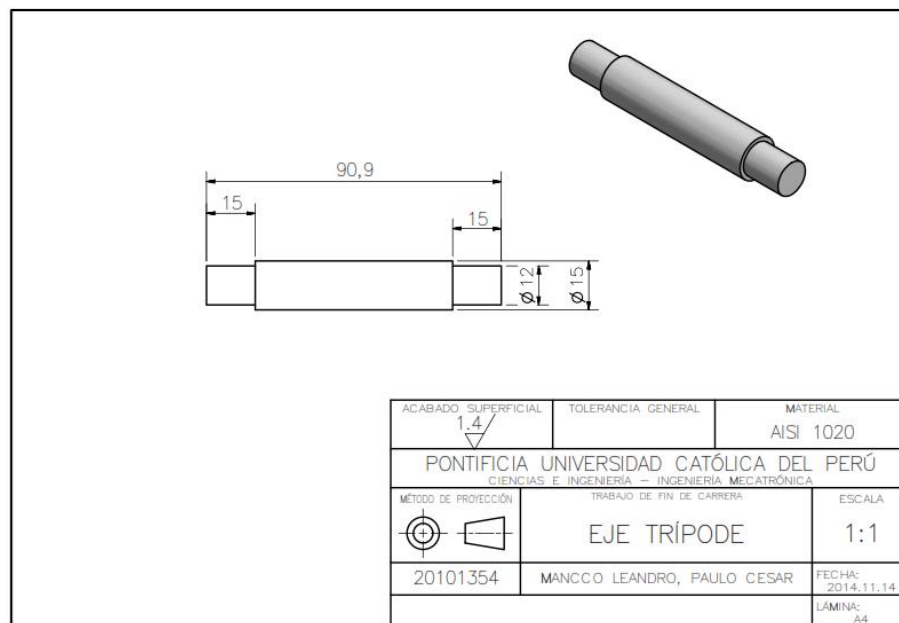


Figura 3.3.12 Plano de despiece de eje trípoде para enlazar el acople trípoде y el acople en T

En la figura 3.3.9 se presenta el eje de trípoде encargado de sujetar y unir las piezas acople en T y acople eje trípoде.

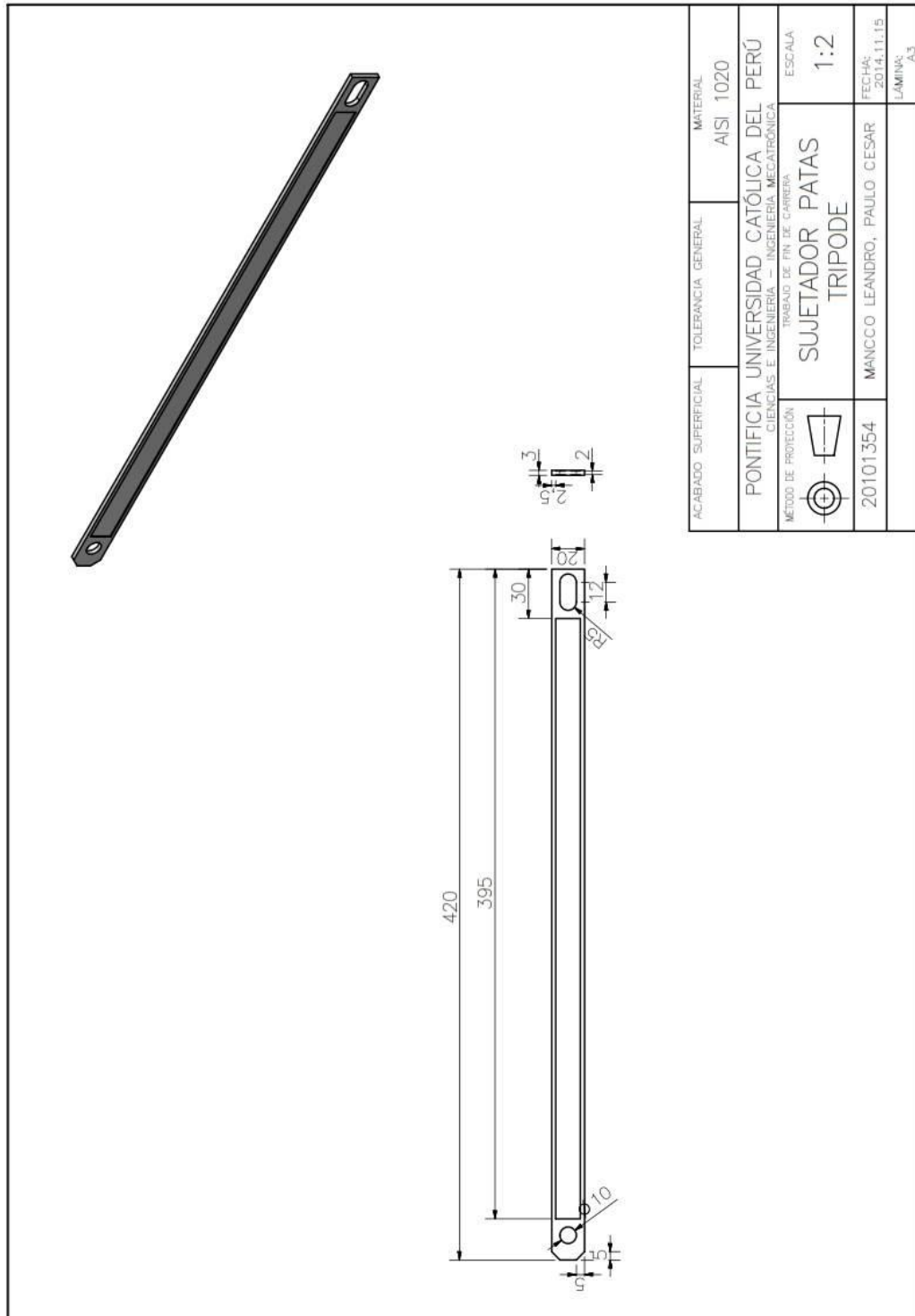


Figura 3.3.13 Plano de despiece de sujetador patas trípode, enlaza los tubos trípode para mejor fijación

Este plano presenta el sujetador de las patas del trípode, el cual evitará un deslizamiento de las patas de este.

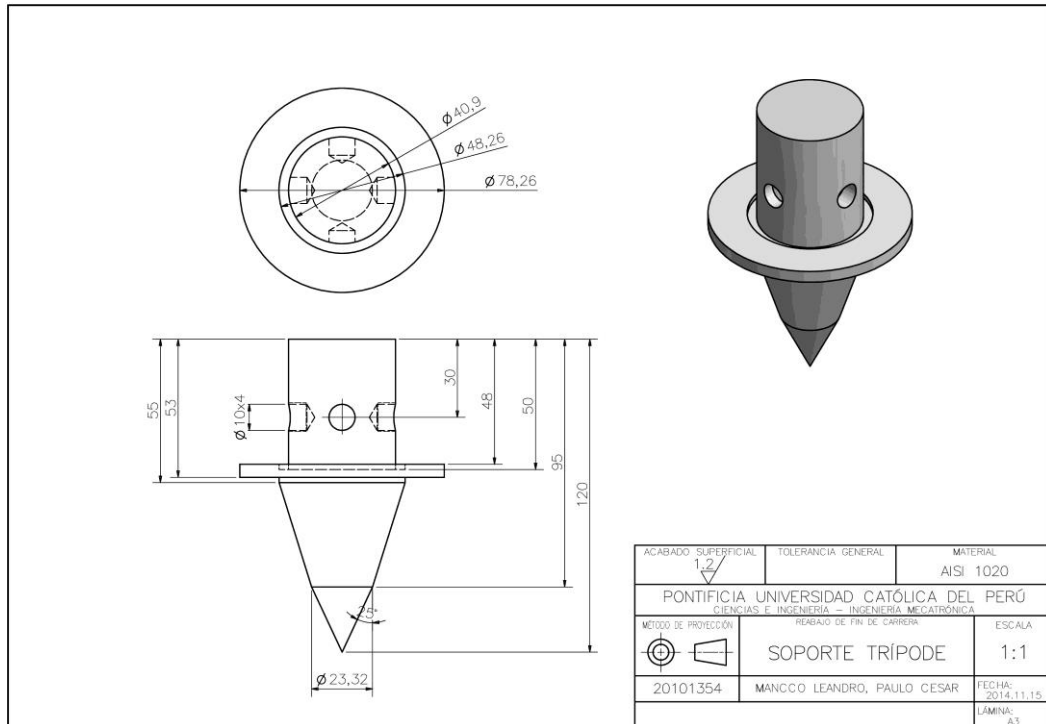


Figura 3.3.14 Plano de despiece de soporte trípode, acoplado al tubo trípode y diseño para fijación en el suelo.

El plano de la figura 3.3.14 presenta el soporte de todo el sistema mecatrónico, está diseñado para la sujeción de las patas del trípode y para que en el suelo se quede fijo.

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

Para el circuito de control se dispone de un Arduino UNO, sensores, ya dispuestos en módulos que poseen las conexiones necesarias para su uso directo, y ciertos actuadores.

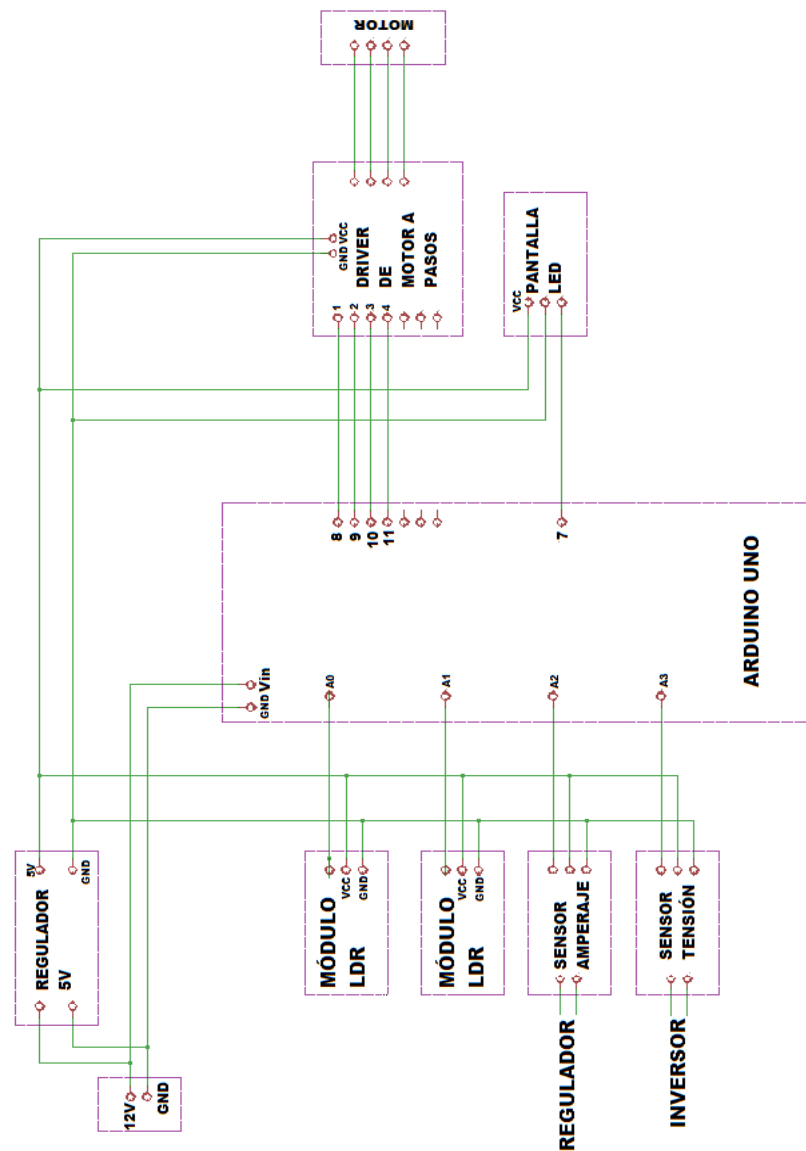


Figura 3.4.1 Esquemático del circuito de control con su alimentación

En la figura 3.4.1 se muestra el diagrama esquemático del circuito principal de control con su respectiva fuente de energía, este está centrado en el Arduino UNO. Para la alimentación se tendrá la fuente de energía que genera el panel solar de 12 V. Debido a que ciertos componentes requieren de una alimentación de 5 V, se instala un regulador 7805 que baja la tensión a 5 V. En la imagen se muestra los pines necesarios que deberán ser conectados entre el Arduino y los demás componentes electrónicos, como los módulos LDR y sensores.

Para el regulador 7805 se implementa un circuito con 2 condensadores, una resistencia y un diodo LED, como se muestra en la figura 3.4.2.

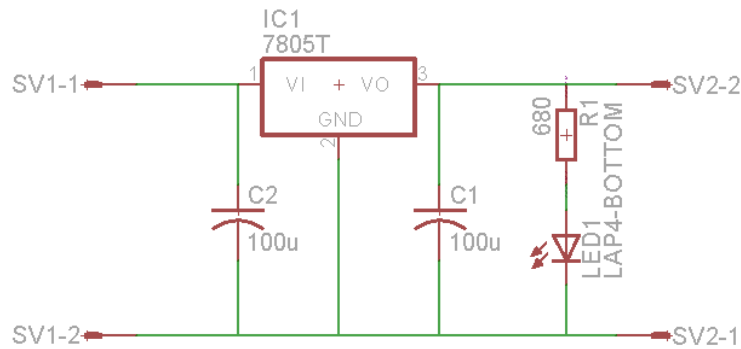


Figura 3.4.2 Esquemático del circuito 7805

Para el consumo de la energía en el hogar se usará energía AC de 220 V, para consumo de alta potencia, y energía DC de 12 V, para uso de alumbrado de bajo consumo de potencia. Los paneles solares generan corriente que ingresa al regulador; éste puede controlar cuanta carga tiene la batería, y además puede alimentar todo el sistema de corriente continua y corriente alterna, para esta última requiere de un inversor encargado de convertir de 12 VDC a 220 VAC.

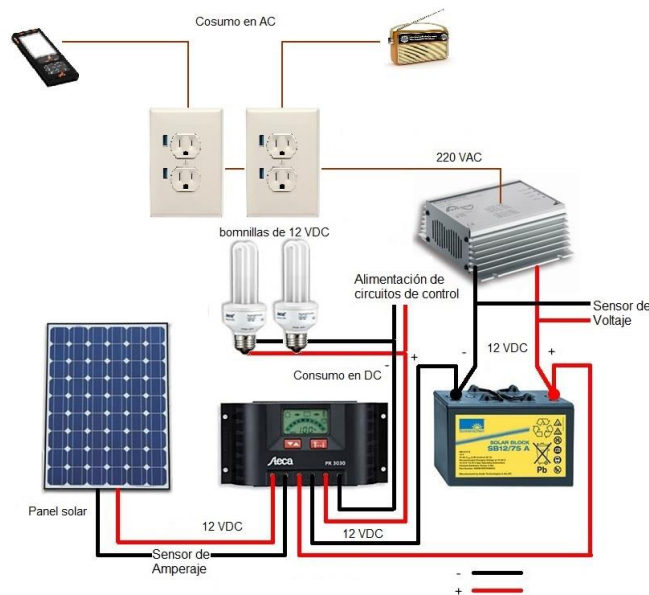


Figura 3.4.3 Esquema del circuito de alimentación por los paneles solares

Como se muestra en la figura 3.4.3 el panel solar permite la alimentación del consumo DC y por el inversor el consumo AC. Además se ubica el sensor de amperaje en la entrada al regulador y el sensor de voltaje a la entrada del inversor. Éstos se conectan a las entradas del circuito de control como se muestra en la figura 3.4.1

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

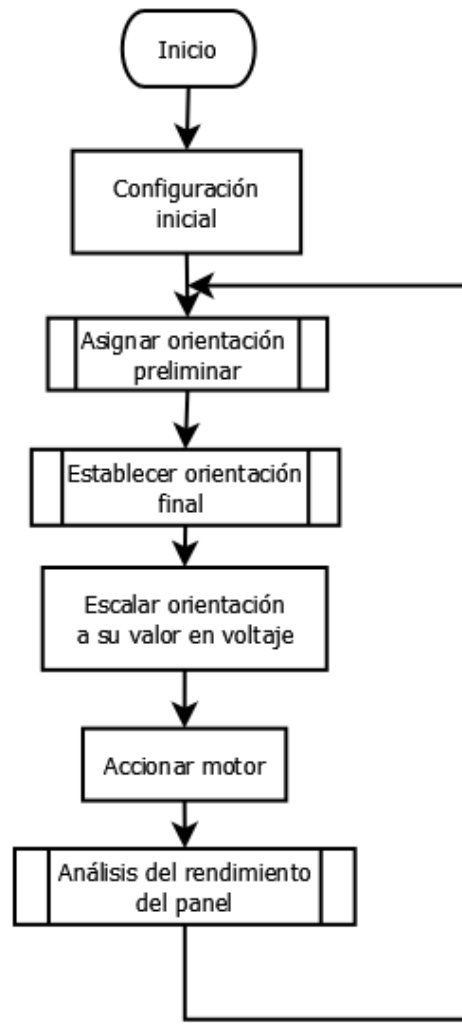
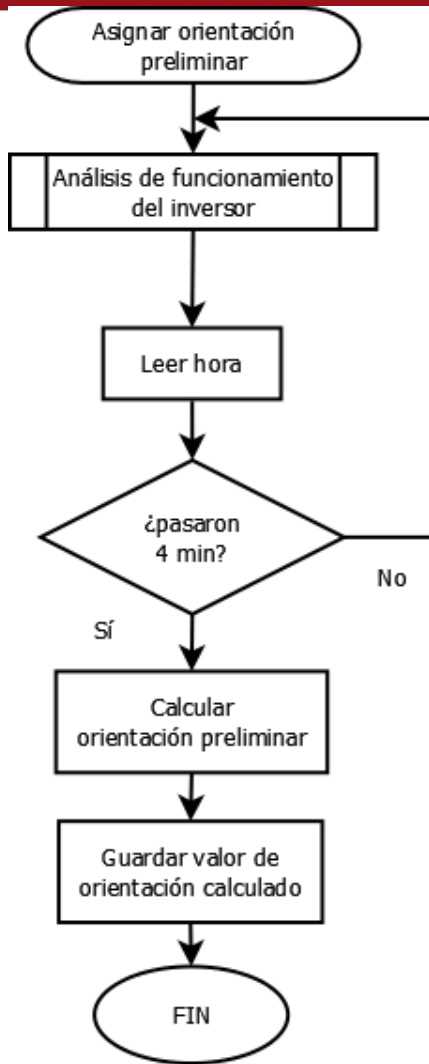


Figura 3.5.1 Diagrama de flujo principal

La figura 3.5.1 muestra el diagrama de flujo principal del programa de control. Primero configura los valores iniciales de contadores, timers y de los sensores y actuadores. Luego realiza una función que le permitirá a través de cálculos geométricos de la posición del sol con respecto a la hora del día se determina un valor inicial de la orientación del panel solar con respecto a la horizontal del mismo. Con este valor se pasa a asignar la orientación final, que presenta una corrección respecto a la orientación anterior al usar los datos de los 2 módulos LDR. Una vez establecida la orientación final, se pasa a convertir este valor de orientación a un valor de voltaje equivalente de accionamiento del motor, que permita a este último ubicar el panel en la mejor posición. Luego de realizar todo el movimiento de los paneles solares se pasa a “análisis del rendimiento del panel” de éstos, para luego regresar a “asignar orientación preliminar”.



El diagrama de flujo de la función “asignar orientación preliminar” (Figura 3.5.2) permite obtener un valor aproximado de la mejor posición angular del panel para que se encuentre orientado al Sol. Primero se verifica el funcionamiento del inversor. Luego, se lee la hora para, a través de cálculos previos, obtener a cuantos grados respecto a la horizontal de la Tierra se encuentra el Sol (anexo 2). Para poder seguir con el programa se debe esperar 4 minutos, debido a que en este tiempo ya se tiene un movimiento significativo del Sol. Si aún no han pasado los 4 minutos regresa a leer hora hasta que se cumpla esta condición. Una vez se haya cumplido este tiempo se pasará a calcular la orientación. Para luego ser guardada y terminar esta función y continuar con el programa principal.

Figura 3.5.2 Diagrama de flujo función 1

El diagrama de flujo “establecer orientación final” (Figura 3.5.3) es el encargado de mejorar la orientación del panel y asignar una orientación más precisa. Se leen los 2 módulos LDR, que calcularan si la intensidad del valor de luz, rayos infrarrojos y UV es igual en ambos; el Arduino debe asignar el valor de corrección de la orientación. Para luego pasar a ser guardada para su uso en las siguientes etapas del software de control.

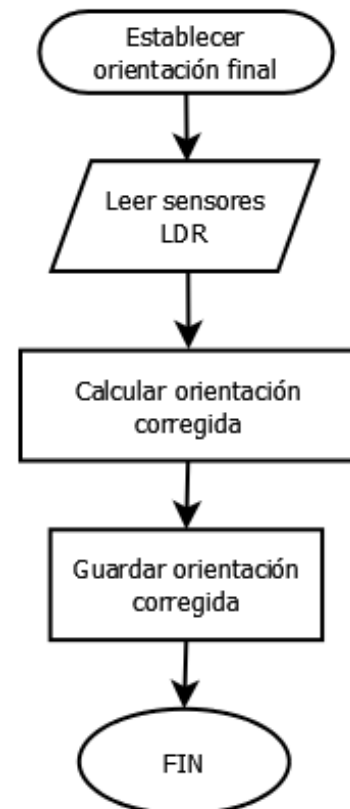


Figura 3.5.3 Diagrama de flujo función 2

Además de tener un proceso de control de seguimiento del Sol, también se cuenta con la función de detectar si los equipos requieren de mantenimiento o no. Para esto se tomaron 2 de los problemas más comunes en los sistemas con paneles solares: la limpieza del panel, que requerirá que el usuario limpie los paneles, y el mal funcionamiento del inversor, que requerirá que el usuario se comunique con servicio técnico.

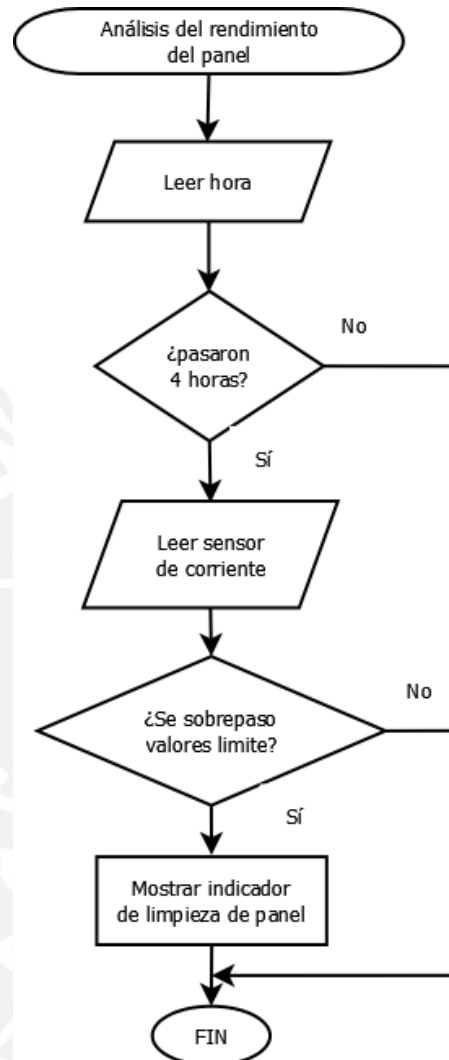


Figura 3.5.4 Diagrama de flujo de análisis del rendimiento del panel

Se debe determinar si el funcionamiento de los paneles no ha disminuido por la suciedad; debido a que esto produce un menor rendimiento en la producción de energía. Para esto como se muestra en la figura 3.5.4, se lee la hora para determinar si ya pasaron 4 horas, esto con el fin de que el sistema no gaste energía innecesaria. Debido a que en el día se tienen alrededor de 12 horas de luz solar, se evaluará 3 veces al día si se requiere hacer una tarea de mantenimiento debido a la reducción de amperaje. Si pasaron 4 horas se leerá el sensor de amperaje para determinar si éste aún se encuentra entre los valores límites para los paneles solares. Si se sobrepasaron se mostrará en un visualizador que se requiere de una limpieza de los paneles solares.

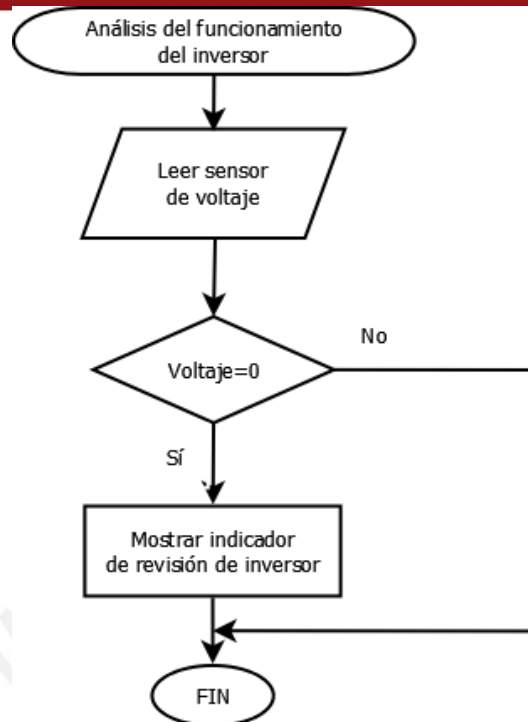


Figura 3.5.5 Diagrama de flujo de análisis del funcionamiento del inversor

Como se muestra en la figura 3.5.5, para determinar si el funcionamiento del inversor es correcto; se usa un sensor de voltaje, además se concibe una lógica que pueda indicar al usuario cuando el inversor requiera de mantenimiento [6]. Se lee el voltaje que está ingresando al inversor y si es cero se pasa a mostrar en un indicador al usuario que existe una falla y no debe usar el sistema y que llame a asistencia técnica.

Capítulo 4

Presupuesto

Para el presupuesto de todo el sistema mecatrónico se realizaron diferentes cotizaciones y de estas se seleccionó las mejores para los dos partes mecánicas y eléctricas/electrónicas (Anexo 5). En la construcción de las piezas mecánicas se realizaron cotizaciones en diferentes talleres de manufactura y se tomó la mejor decisión sobre estos. Para la construcción de todo el sistema eléctrico/electrónico, se obtuvieron los precios de internet. Estas decisiones se presentan a continuación:

- Piezas a elaborarse en un taller de manufactura

Debido a la complejidad de las piezas y a los procesos de fabricación se pidieron cotizaciones en 2 talleres de manufactura.

Tabla 4.1 Presupuesto de sistema mecatrónico en taller mecánico acrópolis

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Tubo trípode	S/. 34.00	100	S/. 3,400.00
2	Acople en T	S/. 43.00	100	S/. 4,300.00
3	Acople eje trípode	S/. 42.00	100	S/. 4,200.00
4	Soporte trípode	S/. 51.50	100	S/. 5,150.00
5	Eje trípode	S/. 30.50	100	S/. 3,050.00
TOTAL				S/. 20,100.00
TOTAL+ IGV (18%)				S/. 23,718.00

En el taller Acrópolis se estimaron los precios para la realización de 100 piezas de acero inoxidable por cada ítem, con esto se obtuvo un coste de S/. 23718.00 por lo que un precio unitario de las piezas saldría S/. 237.18. Para costes de un prototipo se agregará un valor del 30% del precio por centena. Obteniendo como coste por unidad de S/. 308.33.

Tabla 4.2 Presupuesto de sistema mecatrónico en taller mecánico INGETEC

Producto	Cant.	Precio(S./)	Total(S./)	Proveedor
Abrazadera para eje	2	250	500	INGETEC
Eje para acople	4	60	240	INGETEC
Soporte estructura	1	250	250	INGETEC
Sujetador patas trípode	3	120	360	INGETEC
Eje de soporte	2	380	790	INGETEC
Placa de soporte motor	1	280	280	INGETEC
		TOTAL	2420	

En el taller INGETEC se realizó una cotización de varias piezas mecánicas hechas de aluminio y acero, se seleccionaron las piezas que el taller podía fabricar, según técnico del taller.

De las dos cotizaciones anteriores se tiene el presupuesto total de las piezas mecánicas de todo el sistema mecatrónico considerando material y fabricación por el taller.

Tabla 4.3 Presupuesto total de los dos talleres

Costes por Acrópolis	308.33
Costes por INGETEC	2420
Total (S./)	2728.33

- Componentes electrónicos

A continuación se presenta una tabla con todos los componentes electrónicos necesarios para la elaboración de los dispositivos electrónicos.

Tabla 4.4 Presupuesto de los componentes electrónicos

Tipo de Cambio	3.09
----------------	------

Producto	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio Total (S./)	Fabricante
Arduino	1	14.99	46.3191	minilnTheBox
Sensor de Amperaje	1	11.66	36.0294	Dealextrème
Sensor de Voltaje	1	5.58	17.2422	Emartee
Módulo LDR	2	3.35	20.7030	Dealextrème
Motor	1	39.95	123.4455	pololu
Modulo Driver Motor	1	2.8	8.652	Dealextrème
Panel de Led's	1	4.99	15.4191	Dealextrème
Accesorios y fabricación	1	20	61.8	
Banco de baterías	1	-	253	
Paneles solares y regulador	1	-	600	
		Total	1182.962	

Tabla4.5 Presupuesto final de todo el sistema mecatrónico.

	Valor (S./)
Parte Mecánica	2657.18
Parte Electrónica	1182.962
Total	3840.142

Para la construcción de todo el sistema mecatrónico se empleará un total de presupuesto de S/.3841.00.

Capítulo 5

Conclusiones

- En el presente trabajo se pudieron cumplir los objetivos planteados al inicio de este proyecto. Se diseñó un sistema mecatrónico capaz de sostener dos paneles solares, que a su vez se puedan desplazar hacia la mejor orientación hacia la posición del sol.
- Por el “Plan maestro de electrificación rural por energías renovables” se puede estimar que se tiene un capital de S/.4 083.00 por instalación de panel solar; con el que se puede concluir que los S/. 3 841.00 cotizados entran dentro del valor esperado.



Bibliografía

- [1] Estudio del plan maestro de electrificación rural con energía renovable en la república del Perú.
<http://dger.minem.gob.pe/archivos/PlanMaestro_ER_Resumen.pdf>
- [2] Atlas de energía solar del Perú.
<http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/ATLAS_SOLAR.pdf>
- [3] Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems.
IEEE transactions on Energy Conversion, Vol.13, No 1, March 1998
- [4] Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system.
IEEE transactions on power electronics, Vol.16, No 1, January 2001
- [5] Latitud y longitud en el Perú.
<<http://espanol.mapsofworld.com/continentes/sur-america/peru/latitud-y-longitud-de-peru.html>>
- [6] Reliability and availability analysis of a fielded photovoltaic system.
<<http://energy.sandia.gov/wp/wp-content/gallery/uploads/093004c.pdf>>
- [7] Atlas de energía solar en el Perú.
<http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf>
- [8] Luque, Antonio y Hegedus, Steven
2011 Handbook of photovoltaic science and engineering, 2da Edición, WILEY
- [9] M. Vanek, Francis y D. Albright, Louis
2008 Energy systems engineering, Evaluation, McGrawHill
- [10] Davall worm gear sets – metric and imperial centre
<<http://www.davall.co.uk/media/2336/Davall%20Stock%20Gears%20Worm%20Wheel%20Gear%20Sets%2017pages.pdf>>